

RAPPORT

MONITORING “BROERSBANK”

Project	Vlaamse Baaien – Monitoring “Broersbank”
Dossiernr	214339
Title	Monitoring Broersbank – Resultaten Modelleren (periode Mar 2015 – Mei 2015)
Document nr.	214339_R04_20160718
Auteur	Hana Ortega – KU Leuven
Goedgekeurd	Jaak Monbaliu – KU Leuven
Date	10/12/2015 (draft) 18/07/2016 (finale versie).

INHOUD

LIJST FIGUREN	3
LIJST TABELLEN	3
1. INLEIDING	4
1.1. OPZET VAN DE STUDIE	4
1.2. TE SIMULEREN PERIODE	6
2. STRUCTUUR VAN DE MODELLEN EN WEERHOUDEN SETTINGS	7
3. GOLFPARAMETERS, STATISTISCHE PARAMETERS EN KWALITEITSINDICATOREN.....	8
3.1. DEFINITIE GEBRUIKTE GOLFPARAMETERS	8
3.2. STATISTISCHE PARAMETERS VOOR DE VERGELIJKING VAN MODELRESULTATEN EN METINGEN	8
3.3. KWALITEITSINDICATOREN VOOR DE OPVOLGING VAN DE MODELRESULTATEN	9
3.3.1. <i>QI-indicator</i>	9
3.3.2. <i>S-Score</i>	10
4. RESULTATEN EN INDICATOREN	11
4.1. RESULTATEN	11
4.2. INDICATOR VOOR PERFORMANTIE GOLFMODELLERING.....	15
4.3. S-SCORE RESULTATEN EN TOEPASSING BIJ DE ANALYSE VAN STORMCONDITIES	16
5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	17
5.1. CONCLUSIES	17
5.2. AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK	20
6. REFERENTIELIJST	21
ANNEX 1. SPECTRAL SCORE INDICATOR (S-SCORE).....	22
<i>S-score implementatie.</i>	22
<i>S-score validatie.</i>	23
ANNEX 2. GESELECTEERDE STORM CONDITIES (PERIODE MAART-MEI 2015)	27
ANNEX 3. TIJDREEKSEN VAN DE VOLLEDIGE MAAND MODEL BELANGRIJKSTE GOLFPARAMETERS	30
ANNEX 4. S-SCORE EN STORM ANALYSE	46
<i>Storm 21-23 maart2015.</i>	46
<i>Storm 31 Maart-02 april 2015.</i>	54
ANNEX 5. TIJDSLIJN STATISTISCHE PARAMETERS	64
REFERENCE TO THIS REPORT:.....	78

Lijst Figuren

Figuur 1. Locatie van de vijf boeien (rode cirkels).....	5
Figuur 2. Statistische parameterwaarden per maand (links) en verloop statistische parameterwaarden (rechts) voor model settings CM50, CW50 en CM52 op locatie BRB1GB. Simulatie voor de volledige maand, periode maart-mei 2015.	11
Figuur 3. Significante golfhoogte Hm0 voor maart 2015 met model settings CM50, CW50 en CM52 voor de 7 boeilocaties (zie ook op vorige pagina).....	13
Figuur 4. Hm0 voor storm 21-23 maart 2015 met model settings CM50, CW50 en CM52 voor de 7 boeilocaties.	14
Figuur 5. Modelresultaat Hm0, Tm02, piekgolfrichting en S-score voor storm 21-23 maart 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boei op locatie BRB5DB.	16

Lijst Tabellen

Tabel 1. Benaming, locatie en diepte en van de boeien. Modellerings diepte.....	6
Tabel 2. Maand van onderhoud voor de verschillende boeien (periode december 2013- september 2015). Naam van de boei (A94 staat voor aKUST94) en opgemeten waterdiepte op de boeioppositie (aangeduid met de boeilocatienaam, zie Figuur 1).	6
Tabel 3. Overzicht van de geselecteerde settings voor simulatie volledige meetperiode.....	7
Tabel 4. Start- en einddatum voor de geselecteerde stormen periode maart 2015-mei2015.....	8
Tabel 5. Hm0 indicator per 3 maanden van december 2013 tot en met februari 2015.	15
Tabel 6. Tm02 indicator per 3 maanden van december 2013 tot en met mei 2015.	15
Tabel 7. Hm0 scatter index per maand van maart tot en met mei 2015 op locatie BRB1GB en TRGGB1.	15
Tabel 8. Tm02 scatter index per maand van maart tot en met mei 2015 op locatie BRB1GB en TRGGB1.	15
Tabel 9. Hm0 scatter index per storm van maart tot en met mei 2015 op locatie BRB1GB en TRGGB1.....	15
Tabel 10. Tm02 scatter index per storm van maart tot en met mei 2015 op locatie BRB1GB en TRGGB1.	15

1. INLEIDING

1.1. Opzet van de studie

Het ophogen van zandbanken is één van de belangrijke deelprojecten van het vlaggenschipproject Vlaamse Baaien en één van de belangrijke hoofdstukken van het Masterplan 2050. Op dit ogenblik is er echter een leemte in de kennis waardoor het niet mogelijk is te besluiten of het ophogen van zandbanken al dan niet een efficiënte maatregel is om de kustveiligheid te verhogen. Het is daarom noodzakelijk dat men bepaalt in welke mate ondiepe (al dan niet artificieel verhoogde) zandbanken voor de kust een dempend effect (kunnen) hebben op (super) stormgolven die de kust bereiken. Deze (super)stormgolven belasten de zeewering en hun grootte speelt dus een belangrijke rol bij de bepaling van de veiligheid van de Vlaamse kust.

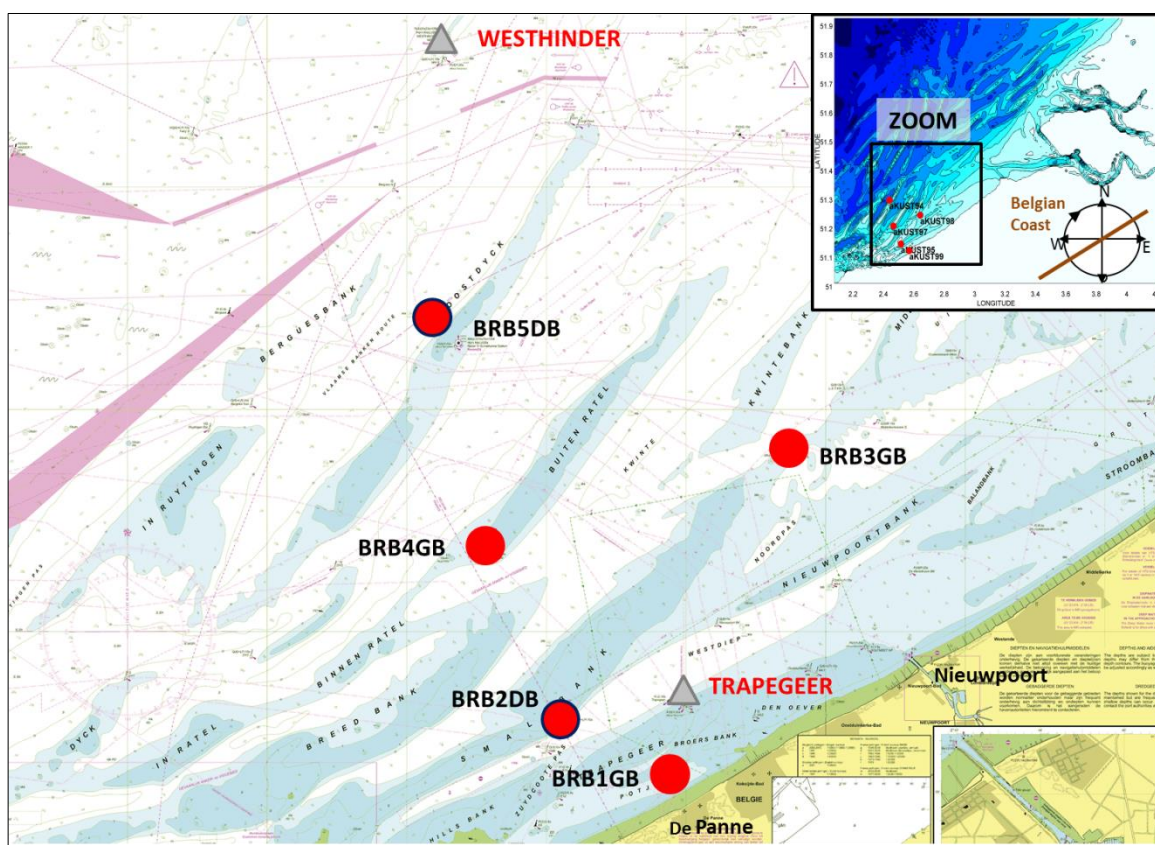
De doelstelling van het project 214339 “Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank” is om de voortplanting, dissipatie en aangroei van golfenergie dat zich van offshore naar onze kust toe beweegt, te bestuderen enerzijds via metingen, anderzijds via numerieke modellering met behulp van spectrale golfmodellen. Dit project is een vervolgproject op project 212176 “Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank”. De studie wordt uitgevoerd om het effect op de golfvoortplanting over ondiepe banken beter te begrijpen, waarbij bestaande golfmodellen kunnen getest worden en nieuwe, meer gedetailleerde golfmodellen kunnen ontwikkeld worden. De resultaten van dergelijke studies zijn dan ook zeer bruikbaar voor de optimalisatie van ontwerpen van maatregelen voor kustverdediging.

Wat betreft metingen zijn er eind november 2013 vijf golfboeien (2 directionele en 3 niet-directionele) uitgelegd. De boeien zijn zo gepositioneerd dat ze een goed beeld kunnen geven van het verloop van de voortplanting en de dissipatie van de energie over de verschillende zandbanken. Er werden reeds een aantal rapporten gemaakt met betrekking tot de performantie van de metingen en het data-acquisitie systeem (zie Rapporten van het voorgaande project 212176 en R01, R02 en R03 in dit project 214339 in de REFERENTIELIJST. Dit rapport bevat de resultaten van de modellering voor de periode Maart-Mei 2015 (zie cf. rapport 212176-R06-20150515 waar de periode December 2013-Februari 2015 werd besproken).

Het basisidee blijft om met behulp van modellen de golfenergie in het volledige Belgische kustgebied te simuleren met bijzondere aandacht voor de zone van de Westkust waar de boeien zijn uitgelegd. Indien het modellerwerk en de metingen perfect zouden zijn, dan zouden de metingen en de resultaten van het model perfect moeten overeenkomen. Dit is natuurlijk niet het geval. We nemen aan dat de metingen ‘beter’ zijn dan het model en we proberen het model zo aan te passen dat de modelresultaten zo goed mogelijk de metingen benaderen door te sleutelen aan verschillende deelcomponenten van het model. Componenten van een model zijn zowel de input die nodig is, zoals wind, bathymetrie, randvoorwaarden (golfcondities op de rand van het

model), enz..., als de wiskundige formuleringen voor de fysische processen die plaatsvinden, zoals diepte-geïnduceerde breking en bodemwrijving. Noteer dat in de wiskundige formulering van een fysisch proces vaak ook nog parameters gekalibreerd worden (bijvoorbeeld de wrijvingsparameter zal afhangen van de bodemkarakteristieken).

De eerste stap in de modellering was het opzetten van een genest rekenmodel ("Nested Coupled System", verder in dit rapport wordt de afkorting NCS gebruikt). Dit werd in detail beschreven in de Rapport 212176-R06-20150515 (REFERENTIELIJST). Met deze opzet kunnen randvoorwaarden gecreëerd worden om een gedetailleerd model voor de Belgische kust aan te drijven. De 5 boeien die in het kader van dit project werden uitgelegd en twee boeien uit het meetnet Vlaamse banken (Westhinder en Trapegeer), leveren de data aan die nodig zijn om te vergelijken met de resultaten bekomen uit de modellen (zie Figuur 1 en Tabel 1). In Tabel 1 zijn naast de dieptes die opgemeten zijn bij het onderhoud van de boeien, ook de dieptes weergegeven die in het model op die locaties worden gebruikt. Die komen niet perfect overeen. Het is op dit moment niet duidelijk wat het effect daarvan is op de berekende golfparameters gezien gemeten en berekende golfhoogtes niet eenduidig gerelateerd zijn aan de lokale waterdiepte.



Figuur 1. Locatie van de vijf boeien (rode cirkels).

LOCATIE	Breedtegraad	Lengtegraad	Diepte (m LAT)	Modellering Diepte (m LAT)	Diepte Verschil (m)
WHI	51.3888	2.4483	25.9	21.9	4.0
BRB5DB	51.2847	2.4394	21.8	22.7	-0.9
BRB3GB	51.2323	2.6413	8.0	10.7	-2.7
BRB4GB	51.1950	2.4656	4.5	4.1	0.4
BRB2DB	51.1330	2.5145	14.4	10.8	3.6
BRB1GB	51.1100	2.5700	7.1	6.0	1.1
TRGGB1	51.1375	2.5830	3.4	4.0	-0.6

Tabel 1. Benaming, locatie en diepte en van de boeien. Modellering diepte.

1.2. Te simuleren periode

Dit rapport geeft een samenvatting van de simulaties voor de volledige periode maart-mei 2015 van de meetcampagne met bijzondere aandacht voor de evenementen met hoge energie (stormen) uit noordelijke richting. Voor die periode beschikken we over alle metingen afkomstig van de geheugenkaarten uit de golfboeien (zie Tabel 2). Die werden immers uitgelezen in de periode juni-september 2015 bij het derde grote onderhoud van de boeien. Uit de berekeningen worden per maand of per storm een aantal statistische parameters (sectie 3) afgeleid die tot op zekere hoogte een oordeel geven over hoe goed de modellen in staat zijn de gemeten situaties ook te modelleren.

		2013		2014												2015											
		N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S			
BRB5DB	boei	A94				A95						A95 *	A94								A93						
	diepte (m LAT)	24,5				21,0						21,8	21,8								21.8						
BRB3GB	boei	A98				A96						A96									A96						
	diepte (m LAT)	8,0				8,0						8,1									8,1						
BRB4GB	boei	A97				A98						A99									A98						
	diepte (m LAT)	4,5				4,5						4,5									4,5						
BRB2DB	boei	A95				A93						A93					A95							A94			
	diepte (m LAT)	14,4				14,4						14,4					\							14,4			
BRB1GB	boei	A99				A97							A98				A97							A99			
	diepte (m LAT)	7,2				7,2							7,1				\							7.1			

* Boei op drift en daaropvolgend vervangen in de maand oktober

* Boei op drift en daaropvolgend vervangen in de maand oktober

Tabel 2. Maand van onderhoud voor de verschillende boeien (periode december 2013- september 2015). Naam van de boei (A94 staat voor aKUST94) en opgemeten waterdiepte op de boei positie (aangeduid met de boeilocatienaam, zie Figuur 1).

2. STRUCTUUR VAN DE MODELLEN EN WEERHOUDEN SETTINGS

Voor gedetailleerde informatie met betrekking tot de structuur van het model wordt verwezen naar Sectie 2 van voorgaand rapport 212176-R06-20150515 (zie REFERENTIELIJST). In dit rapport wordt ook het eerdere onderzoek ter bepaling van de modelsettings uiteengezet. Uiteindelijk werden volgende inputs en settings weerhouden voor verdere modellering:

1. Windvelden: ERA-Interim
2. Waterstanden en stromingen (U,V): afkomstig van het gekoppeld COHERENS model (NCS)
3. Bathymetrische data: 'WL 14_KZ'
4. Golfmodellering: kuststrookmodel
5. Tijdstap golfmodel: 10 minutes
6. Golfrandvoorwaarden:
 - Berekende golfspectra (WAM-model) opgelegd op de rand van het kuststrookmodel: → **CW50**
 - Gemeten golfspectra op locatie WHI opgelegd op west-, noord-, en ooststrand van het kuststrookmodel: → **CM50**
7. Bodemwrijving:
 - Standaard bodemwrijving (=CM50)
 - Halvering van de bodemwrijvingscoëfficiënt → **CM52**

Samengevat worden dus volgende settings weerhouden voor de simulatie van de volledige meetperiode:

Run Code	Main settings
CM50	Bathymetry WL met overlay bathymetrische lading juni 2013 (WL14_KZ) Default bodemwrijving Jonswap = 0.067
CW50	Bathymetry WL met overlay bathymetrische lading juni 2013 (WL14_KZ) Default bodemwrijving Jonswap = 0.067
CM52	CM50 maar met wrijvingsconstante bodemwrijving Jonswap = 0.0335

Tabel 3. Overzicht van de geselecteerde settings voor simulatie volledige meetperiode.

De modelsimulaties samengevat in dit rapport zijn gedaan voor de periode maart 2015 tot en met mei 2015, en de statistische parameters zijn samengevat per maand voor de berekening van de volledige maand.

Daarbovenop werden twee stormcondities in meer detail bekeken. De stormen zijn geselecteerd op basis van relatief hoge significante golfhoogtes en komende uit richtingen noordwest en noord, zie sectie 4.3.4 van rapport 212176-R06-20150515. In ANNEX 2. GESELECTEERDE STORM CONDITIES (periode maart-mei 2015) kunnen de gedetailleerde criteria teruggevonden worden om tot de stormen te komen in onderstaande Tabel 4:

Storm ID	Startdatum	Einddatum	Maand
12	21 maart 2015	23 maart 2015	maart 2015
13	30 maart 16:00	02 april 2015 16:00	maart-april 2015

Tabel 4. Start- en einddatum voor de geselecteerde stormen periode maart 2015-mei2015.

3. GOLFPARAMETERS, STATISTISCHE PARAMETERS EN KWALITEITSINDICATOREN

3.1. Definitie gebruikte golfparameters

De golfparameters gebruikt in deze studie worden afgeleid uit het spectrum. Om onderstaande definities te begrijpen wordt eerst het begrip moment m_x van een energiespectrum gedefinieerd.

$$m_x = \int f^x E(f) df \quad ; [m]$$

$E(f)$ is daarbij de energie-inhoud van het spectrum (in m^2s) bij een bepaalde frequentie f .

Met deze definitie kunnen dan gemakkelijk andere parameters gedefinieerd worden.

$Hm0$: significante golfhoogte (H_s) gebaseerd op het nulmoment (m_0) van het energiespectrum.

$$Hm0 = 4\sqrt{m_0} \quad ; [m]$$

T_m is een gemiddelde periode gebaseerd op m_{-1} . Het is een vrij robuuste parameter voor de golfperiode omdat lagere frequenties zwaarder doorwegen.

$$T_m = \frac{m_{-1}}{m_0} \quad ; [s]$$

T_{m1} is een gemiddelde periode gebaseerd op m_1 .

$$T_{m1} = \frac{m_0}{m_1} \quad ; [s]$$

T_{m2} is een gemiddelde periode gebaseerd op m_2 . Deze periode wordt veel gebruikt omdat deze periode vrij goed overeenkomt met de zogenaamde 'zero upcrossing period', een periode die verkregen wordt bij tijdsanalyse van golfboeismignalen.

$$T_{m2} = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad ; [s]$$

3.2. Statistische parameters voor de vergelijking van modelresultaten en metingen

De volgende veel gebruikte statistische parameters werden weerhouden om modelresultaten en meetgegevens te vergelijken.

$$RMSE = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad ; \text{Root mean square error.}$$

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i) \quad ; \text{Bias.}$$

$$SI = \frac{RMSE}{|\bar{x}|} \quad ; \text{Scatter index.}$$

$$CO = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - \bar{x}}{S_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{y}}{S_y} \right) \quad ; \text{Correlatiecoëfficiënt.}$$

; S_x en S_y zijn de standaardafwijkingen.

Hierbij wordt met 'x' verwezen naar de boeidata en met 'y' naar de resultaten uit het model. Voor de BIAS parameter betekent dit dat een negatieve waarde wijst op een onderschatting en een positieve waarde tot een overschatting door het model t.o.v. de metingen.

Deze statistische parameters helpen ons om enerzijds het model te kalibreren (keuze model settings), anderzijds het model te valideren (opvolgen van de modelresultaten voor periodes niet betrokken in de validatie).

3.3. Kwaliteitsindicatoren voor de opvolging van de modelresultaten

3.3.1. QI-indicator

Een set van 'eenvoudige' indicators vastleggen om de kwaliteit van de resultaten van modellen te beoordelen is altijd een moeilijke evenwichtsoefening. Dergelijke set moet klein zijn om overzichtelijk te blijven enerzijds, maar moet toch nog voldoende omvattend zijn om een oordeel te kunnen vellen anderzijds. In overleg met de opdrachtgever werd in de vorige studie (project 212176 "Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank") vastgelegd om met de onderstaande kwaliteitsindicatoren te werken:

- 3-maand gemiddelde SI van de Hsig op de locaties BRB1GB en TRGGB1.
- 3 maand gemiddelde SI van de periode Tm02 van de locaties BRB1GB en TRGGB1.

$$QI_{3maanden} = \frac{SI_{all\ cond_BRB1GB} + SI_{all\ cond_TRGGB1}}{2} \quad ; \text{gemiddelde SI volledige maand.}$$

$$QI_{stormen} = \frac{(SI_{storm\ cond_BRB1GB} + SI_{storm\ cond_TRGGB1})}{2} \quad ; \text{gemiddelde SI voor storm condities.}$$

3.3.2. S-Score

Tot op heden werden de modelvoorspellingen dus beoordeeld aan de hand van indicators die de overeenkomst tussen de gemeten en gemodelleerde golfparameters, bv. H_{m0} en T_{m02} , weergeven. Alhoewel de overeenkomst tussen de geobserveerde en voorspelde golfparameters goed kan zijn, wijken de gemeten en voorspelde golfspectra in sommige gevallen significant af. In deze omstandigheden zijn eenvoudige golfparameters alleen niet voldoende om de reeks golfcondities die kunnen voorkomen op een bepaalde plaats, te beschrijven (Dabbi *et al.*, 2015). Daarom werd een parameter ontwikkeld om de vorm van het gegenereerde frequentiespectrum te beoordelen; de Spectral Score Indicator of S-score. Deze parameter heeft als doel te meten hoe goed de vorm van het golfspectrum gereproduceerd wordt door de modellering. Zowel het gemodelleerde spectrum als het geobserveerde spectrum worden genormaliseerd, zodat de oppervlakte onder beide spectra 1 wordt. Daarnaast wordt hun frequentie-inhoud in n frequentiebanden onderverdeeld. Deze onderverdeling is identiek voor beide spectra. De S-score wordt dan gedefinieerd als:

$$S_{score} = \sum_{1}^n \min(S_{normalized, MODEL}, S_{normalized, OBSERVATION}) \Delta f_n$$

Δf_n is de breedte van het frequentie-interval voor de n -de frequentie in het energiespectrum.

De waarde van de S-score ligt tussen 0 en 1. Bij een perfecte overeenkomst krijgt men een waarde 1. De berekening van deze indicator wordt in detail besproken in ANNEX 1. SPECTRAL SCORE INDICATOR (S-score).

4. RESULTATEN EN INDICATOREN

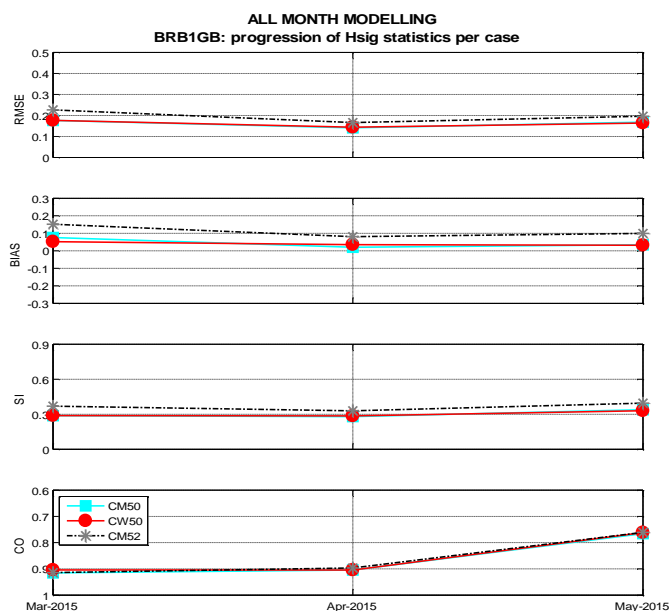
4.1. Resultaten

Zoals hierboven vermeld, werd de periode van maart 2015 tot en met mei 2015 (3 maanden) gemodelleerd voor 'alle condities' en voor 'storm condities'.

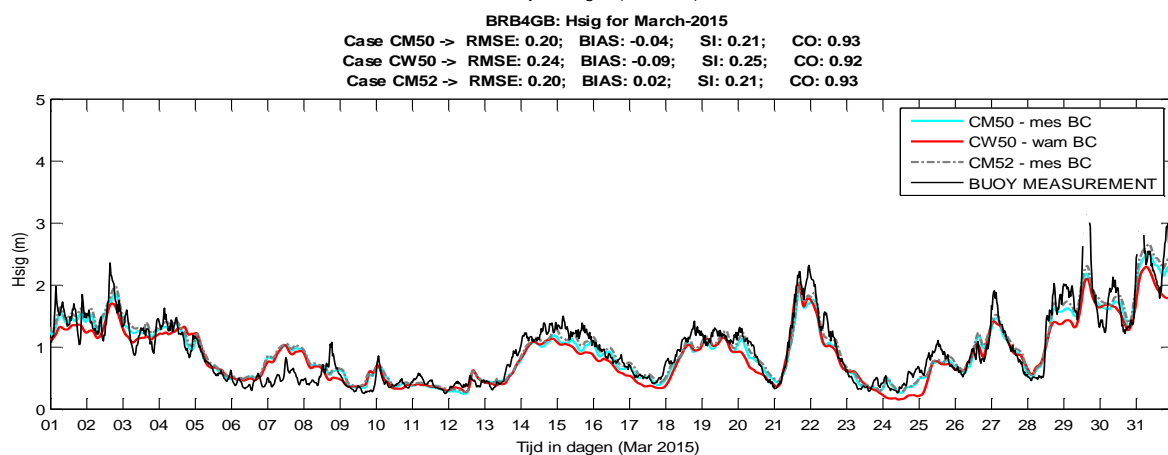
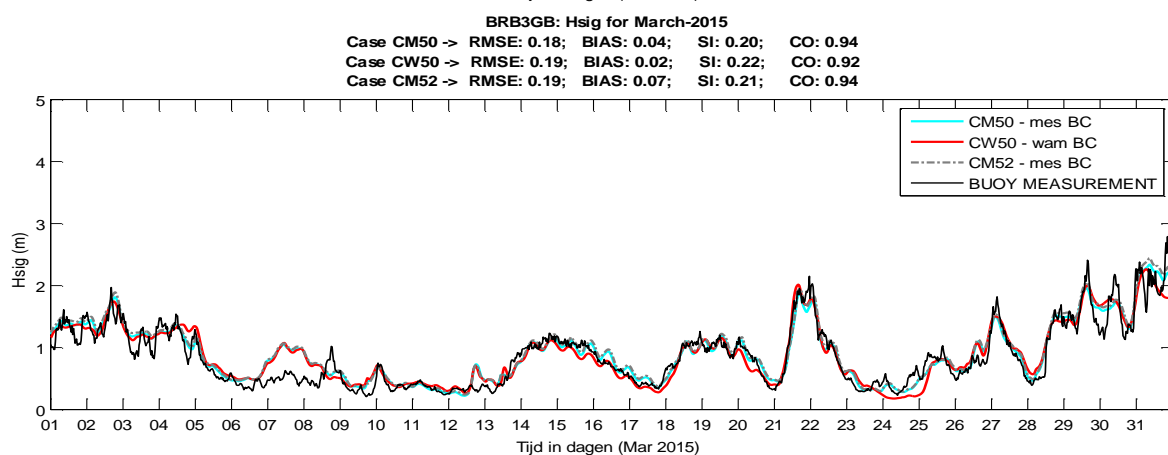
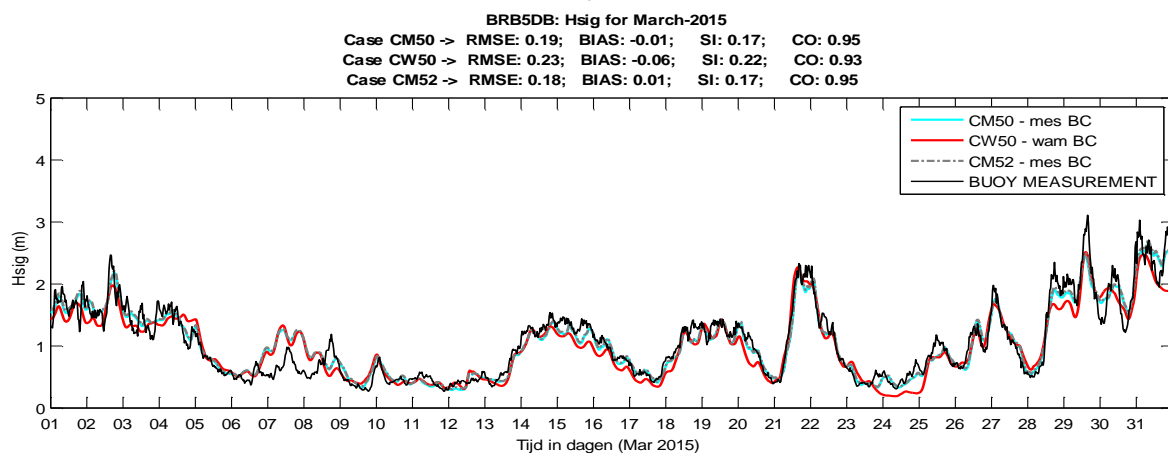
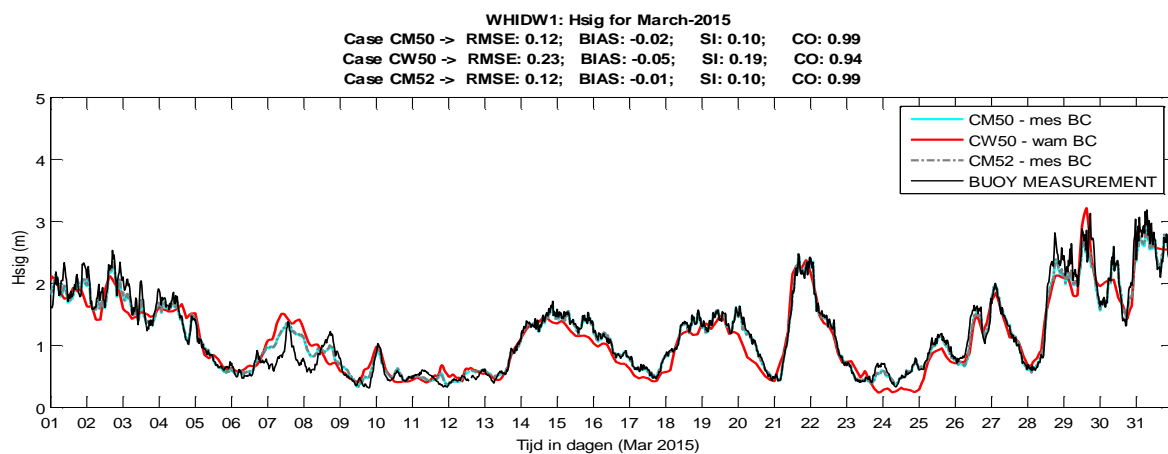
De verkregen golfhoogte H_{m0} , periode T_{m02} en piekgolfrichting (alleen voor de directionele boeien) worden systematisch geplot voor 'alle condities' en 'storm condities' voor de 7 boeilocaties (WHI, Trapegeer en de 5 boeien die speciaal voor deze campagne zijn uitgelegd). Zie voorbeeldplots voor H_{m0} voor de volledige maand maart 2015 in Figuur 3 en voor de geselecteerde storm in die maand in Figuur 4. In elke figuur worden de 4 statistische parameters (RMSE, BIAS, SI en CO) getoond. Alle andere tijdreeksen voor 'alle condities' zijn terug te vinden in ANNEX 3. TIJDREEKSEN VAN DE VOLLEDIGE MAAND MODEL BELANGRIJKSTE GOLFPARAMETERS.

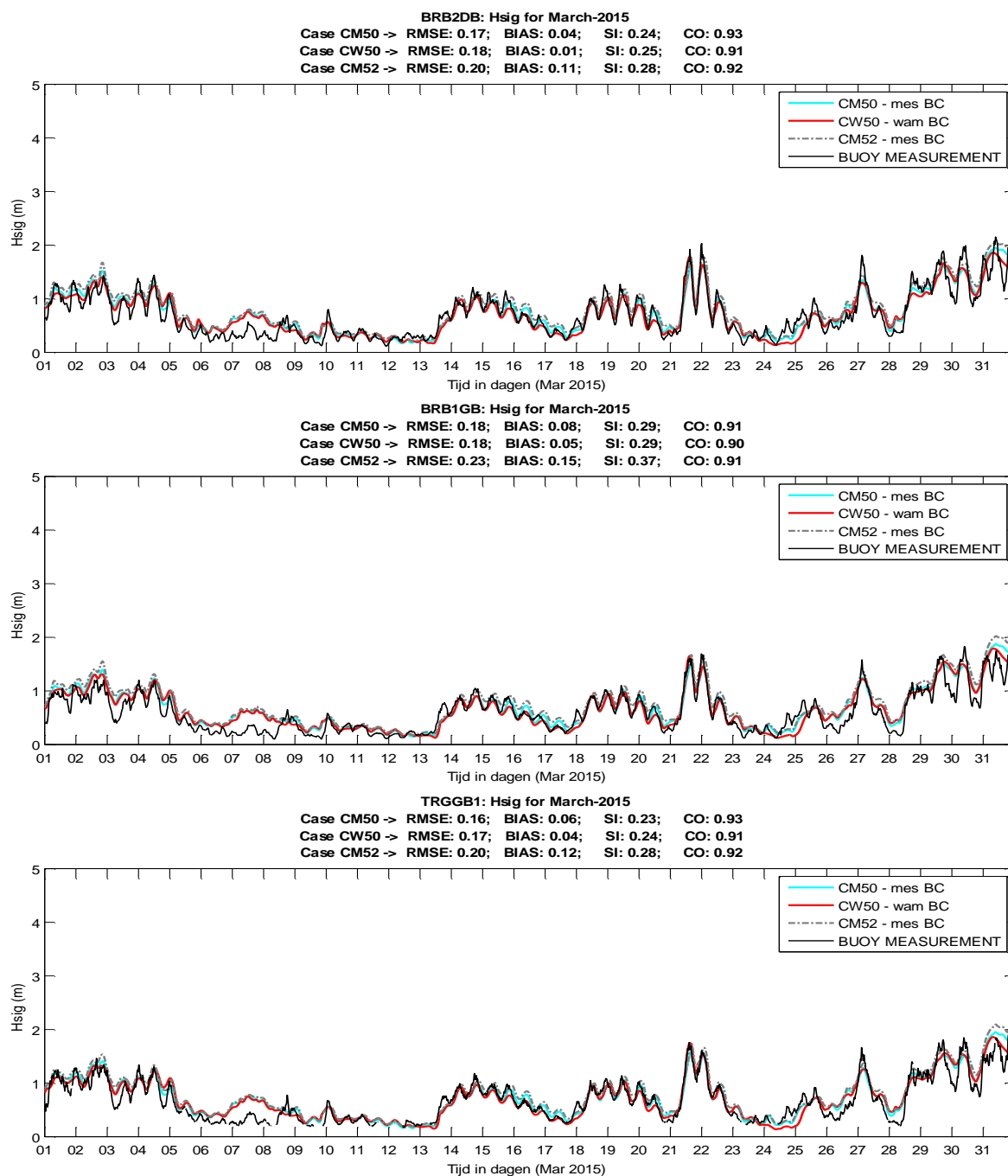
Om toch op een iets meer overzichtelijke manier al deze statistische parameters te kunnen overzien (3 settings voor het model x 2 parameters H_{m0} en T_{m02} x 4 statistische parameters RMSE, BIAS, SI en CO x 7 locaties x aantal gesimuleerde maanden en het aantal geselecteerde stormen), worden de statistische parameters weergegeven zoals in Figuur 2 (links) en worden een aantal figuren gemaakt die de variatie van deze parameters weergeven in de tijd, zoals het geval is in Figuur 2 (rechts). Alle andere tabellen en figuren voor de periode maart 2015 tot en met mei 2015 zijn terug te vinden in ANNEX 5. TIJDSLIJN STATISTISCHE PARAMETERS.

H_{m0}	BRB1GB	Maart 2015	April 2015	Mei 2015
RMSE	CM50	0.18	0.14	0.17
	CW50	0.18	0.14	0.16
	CM52	0.23	0.17	0.20
BIAS	CM50	0.08	0.02	0.03
	CW50	0.05	0.04	0.03
	CM52	0.15	0.08	0.10
SI	CM50	0.29	0.28	0.34
	CW50	0.29	0.29	0.33
	CM52	0.37	0.33	0.40
CO	CM50	0.92	0.90	0.77
	CW50	0.90	0.90	0.76
	CM52	0.91	0.90	0.76

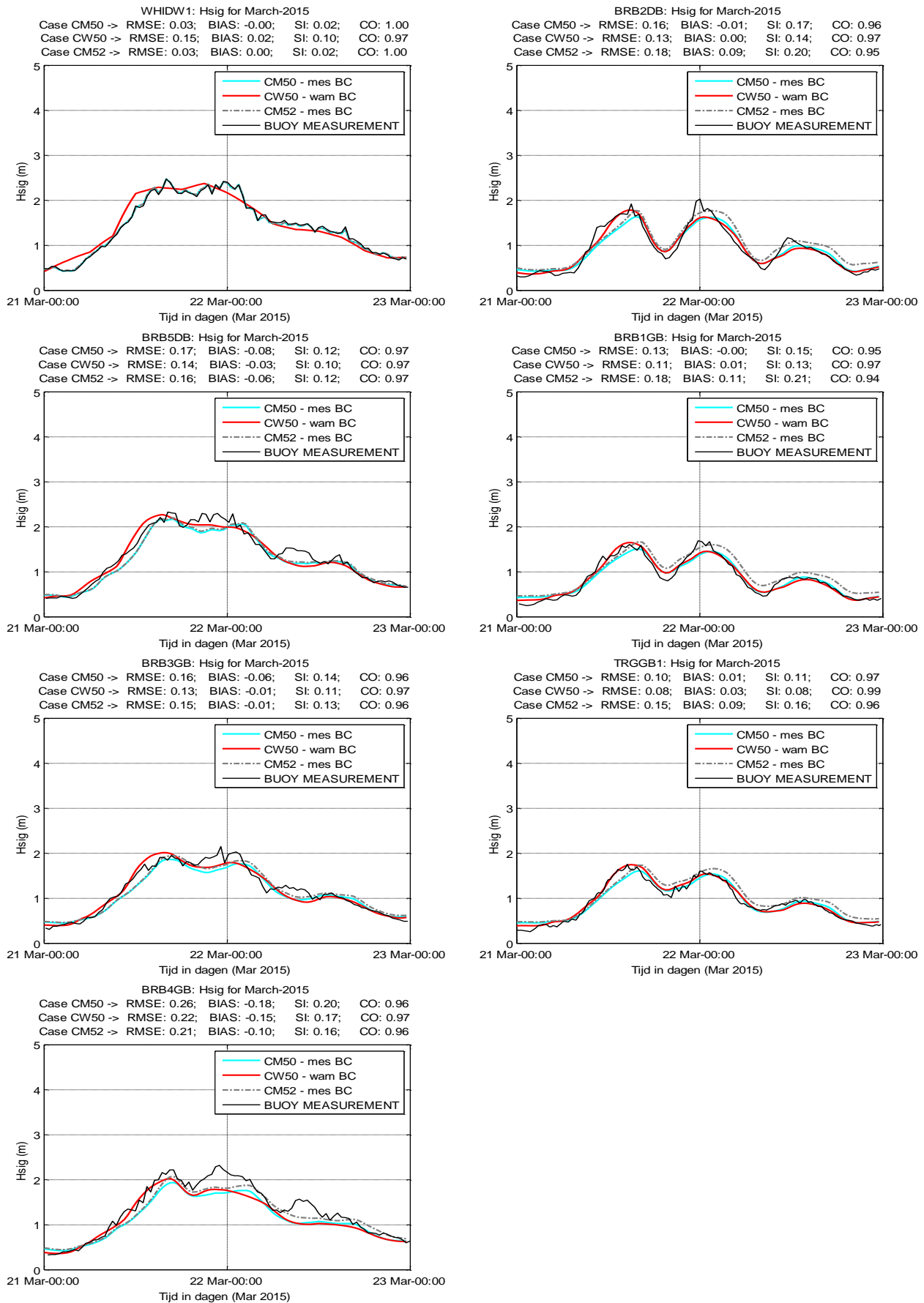


Figuur 2. Statistische parameterwaarden per maand (links) en verloop statistische parameterwaarden (rechts) voor model settings CM50, CW50 en CM52 op locatie BRB1GB. Simulatie voor de volledige maand, periode maart-mei 2015.





**Figuur 3. Significante golfhoogte Hm0 voor maart 2015 met model settings CM50, CW50 en CM52 voor de 7 boeilocaties
(zie ook op vorige pagina)**



Figuur 4. Hm0 voor storm 21-23 maart 2015 met model settings CM50, CW50 en CM52 voor de 7 boeilocaties.

4.2. Indicator voor performantie golfmodellering

Als indicator voor de performantie van het model werd gekozen voor een driemaandelijke gemiddelde Scatter Index voor elk van de drie weerhouden model settings. en dit voor zowel H_{m0} als T_{m02} . Uit de waarden voor de aldus verkregen indicator, wordt de kleinste waarde weerhouden (dus het resultaat van de modelsetting met het beste resultaat) en deze waarde wordt aangeduid met 'QI_3maand' wanneer ze berekend wordt aan de hand van de waarden voor de volledige maand, en met 'QI_storm' indien ze berekend wordt uit de waarden die afkomstig zijn uit stormcondities (zie Tabel 5 voor H_{m0} indicator en Tabel 6 voor T_{m02}). De formules voor deze parameters zijn terug te vinden in sectie 3.3. Om de behaalde resultaten overzichtelijk te houden worden deze indicatoren enkel berekend voor de locaties die het dichtst bij de kust liggen met name boeilocatie Trapegeer (TRGGB1) en boeilocatie 1 (BRB1GB). Een goede modellering voor deze locaties is belangrijk om de impact van de golfenergie op de kustlijn te kennen. Deze indicatoren zijn gebaseerd op maandelijkse of stormwaarden voor de Scatter Indices voor de boeien op locatie TRGGB1 en BRB1GB (terug te vinden in Tabel 7-Tabel 10 voor bijvoorbeeld de gesimuleerde significante golfhoogtes, H_{m0} , en gemiddelde periode, T_{m02}).

Hm0	Dec-Feb	Mar-May	Jun-Aug	Sept-Nov	Dec-Feb2015	Mar-May2015
QI_3maand	0.48	0.29	0.26	0.40	0.29	0.28
QI_stormen	0.23	0.16	0.16	0.21	0.26	0.16

Tabel 5. H_{m0} indicator per 3 maanden van december 2013 tot en met februari 2015.

Tm02	Dec-Feb	Mar-May	Jun-Aug	Sept-Nov	Dec-Feb2015	Mar-May2015
QI_3maand	0.13	0.12	0.12	0.13	0.10	0.11
QI_stormen	0.10	0.10	0.11	0.09	0.12	0.10

Tabel 6. T_{m02} indicator per 3 maanden van december 2013 tot en met mei 2015.

Hm0	BRB1GB	Mar2015	Apr2015	May2015
5	CM50	0.29	0.28	0.34
	CW50	0.29	0.29	0.33
	CM52	0.37	0.33	0.40

Hm0	TRGGB1	Mar2015	Apr2015	May2015
5	CM50	0.23	0.22	0.31
	CW50	0.24	0.23	0.31
	CM52	0.28	0.24	0.32

Tabel 7. H_{m0} scatter index per maand van maart tot en met mei 2015 op locatie BRB1GB en TRGGB1.

Tm02	BRB1GB	Mar2015	Apr2015	May2015
5	CM50	0.11	0.13	0.13
	CW50	0.12	0.15	0.14
	CM52	0.15	0.15	0.18

Tm02	TRGGB1	Mar2015	Apr2015	May2015
5	CM50	0.08	0.09	0.09
	CW50	0.09	0.12	0.12
	CM52	0.09	0.10	0.11

Tabel 8. T_{m02} scatter index per maand van maart tot en met mei 2015 op locatie BRB1GB en TRGGB1.

Hm0	BRB1GB	Mar2015	Apr2015	May2015
5	CM50	0.15	0.21	/
	CW50	0.13	0.22	/
	CM52	0.21	0.29	/

Hm0	TRGGB1	Mar2015	Apr2015	May2015
5	CM50	0.11	0.19	/
	CW50	0.08	0.19	/
	CM52	0.16	0.25	/

Tabel 9. H_{m0} scatter index per storm van maart tot en met mei 2015 op locatie BRB1GB en TRGGB1.

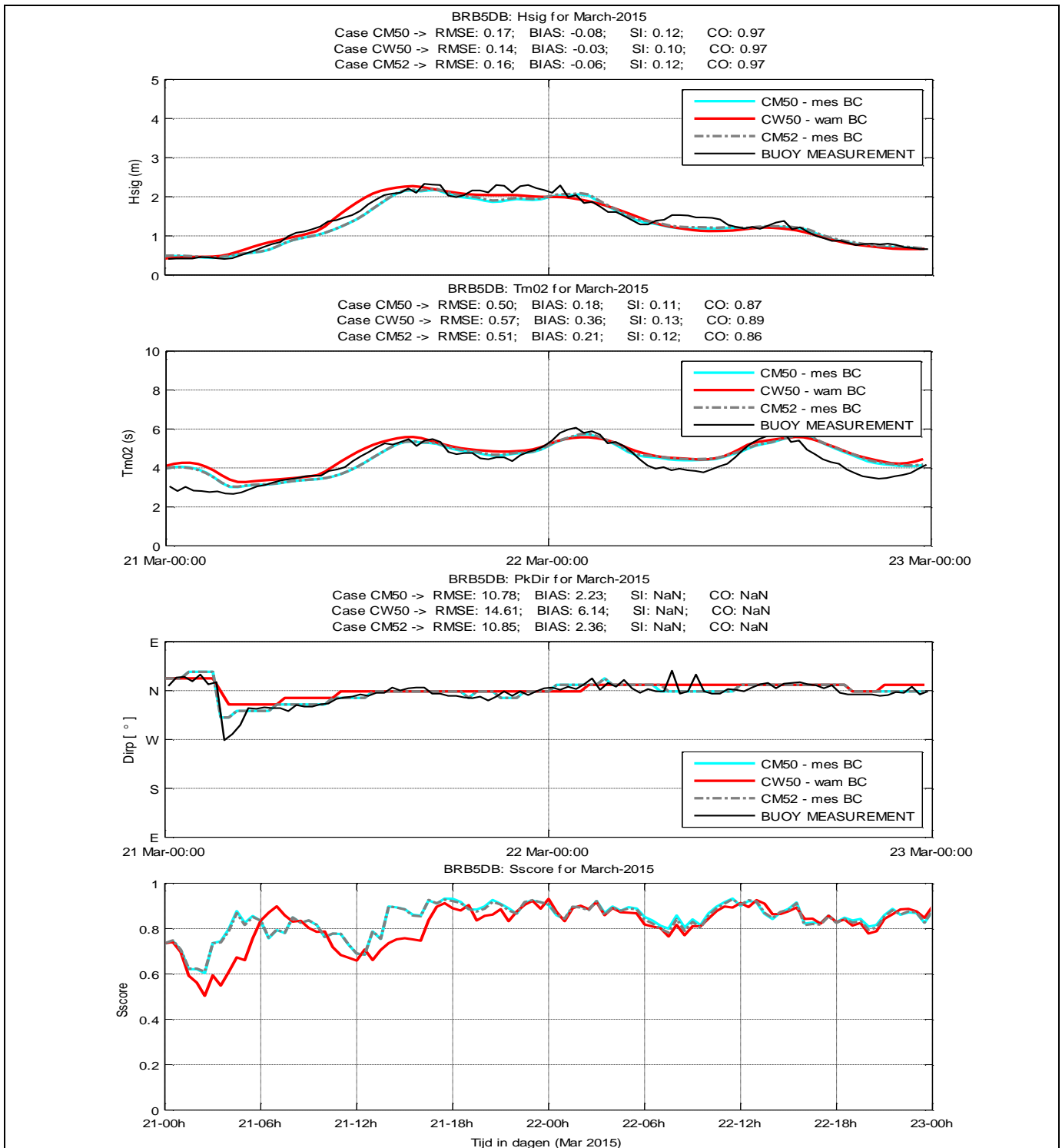
Tm02	BRB1GB	Mar2015	Apr2015	May2015
5	CM50	0.17	0.08	/
	CW50	0.17	0.08	/
	CM52	0.24	0.12	/

Tm02	TRGGB1	Mar2015	Apr2015	May2015
5	CM50	0.11	0.07	/
	CW50	0.10	0.06	/
	CM52	0.14	0.07	/

Tabel 10. T_{m02} scatter index per storm van maart tot en met mei 2015 op locatie BRB1GB en TRGGB1.

4.3. S-score resultaten en toepassing bij de analyse van stormcondities

De S-score werd berekend voor de stormen tijdens de beschouwde periode (zie ANNEX 1. SPECTRAL SCORE INDICATOR (S-score)). Het is in het bijzonder interessant om deze resultaten in parallel te bekijken met Hm0, Tm02 en Dirp. Als voorbeeld wordt dit voor boei BRB5DB getoond in Figuur 5. Voor de andere locaties is deze vergelijking terug te vinden in ANNEX 4. S-SCORE EN STORM ANALYSE.



Figuur 5. Modelresultaat Hm0, Tm02, piekgolfrichting en S-score voor storm 21-23 maart 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boei op locatie BRB5DB.

Na validatie (zie ANNEX 1. SPECTRAL SCORE INDICATOR (S-score)) blijkt dat de S-score een eenvoudige en accurate methode is om de overeenkomst van het model wat betreft de vorm van het frequentiespectrum weer te geven. Daarom wordt voorgesteld om deze nieuwe indicator, complementair met andere statistieken, te gebruiken om de performantie van het golfmodel bij het reproduceren van de golfobservaties met gegeven input, te beoordelen. Deze indicator is bijzonder handig om de spectra die alvast qua vorm niet accuraat gereproduceerd worden, te identificeren. Aangezien dit een grote beperking is bij de modellering, zal deze parameter ons helpen om een betere selectie te maken van de te beschouwen gevallen voor verder onderzoek. Alhoewel het moeilijk tot niet mogelijk is om de kwaliteit van de huidige resultaten eenduidig te vergelijken met modelsimulaties voor de aanvang van deze studie, werden in de rapporten van het BOREAS project (Mathys et al., 2011) statistische parameters gevonden van gelijkaardige berekeningen. Toch durven we te stellen dat er een merkbare verbetering is, in het bijzonder voor de berekende gemiddelde periodes (T_{m02}). De waarde van de bias zijn verschoven van een grootte orde 1s naar een grootte orde 0.25 s op locatie Westhinder. Ook root mean square error (RMSE) en scatter index (SI) zijn kleiner geworden. Voor de locaties dicht bij de kust (Bol van Heist in de Boreas studie en Trapegeer in deze studie) zien we ook een verbetering in de bias, rms error en scatter index voor de berekende gemiddelde periode T_{m02} . De verbeteringen voor de statistische parameters met betrekking tot de significante golfhoogte zijn iets minder spectaculair maar toch nog aanzienlijk. Bias blijft ongeveer hetzelfde (dicht bij nul), RMSE en SI verminderen met ongeveer 1/3. We mogen dus besluiten dat de implementatie van deze set van modellen nauwkeuriger resultaten geeft in vergelijking met die van uit de vroegere BOREAS studie.

5. Conclusies en aanbevelingen

5.1. Conclusies

Onderstaande conclusies zijn gebaseerd op de resultaten van de modellering voor de periode maart-mei 2015 en de 2 geselecteerde stormen. De modelleringsopzet blijft hetzelfde als in voorgaande modellering (zie sectie 2 en rapport 212176-R06-20150515). De aanbevelingen voor verder onderzoek uit dat rapport worden hieronder niet herhaald, maar blijven wel geldig. Alhoewel de kwaliteitsindicatoren voor de 3 modelleringsgevallen een gelijkaardig gedrag vertonen als voor de modellering van de voorgaande maanden (zie indicatoren in Tabel 5 en Tabel 6), kunnen toch enkele specifieke observaties gedaan worden met betrekking tot de modellering voor de periode maart-mei:

- De drie settings voor de modellering vertonen gelijkaardige resultaten en er zijn geen grote verschillen tussen de gevallen met gemeten randvoorwaarden (CM50 en CM52) en de gevallen met gemodelleerde randvoorwaarden (CW50) (zie Tabel 7-Tabel 10). Dit betekent dat het gekoppelde

COHERENS model de golfrandvoorwaarden voor deze 3 maanden op Westhinder correct reproduceert (Figuur 5.8 in ANNEX 5. TIJDSLIJN STATISTISCHE PARAMETERS).

- Golfhoogtes op locatie BRB4GB worden zowat continu onderschat (zie Figuur 5.11 in ANNEX 5. TIJDSLIJN STATISTISCHE PARAMETERS) en de afwijking is ook aanzienlijk groter dan op de andere boeilocaties (grotere negatieve BIAS) en dit voor elk van de model settings. Dit is zelfs meer uitgesproken voor stormcondities (zie verder). Alhoewel deze locatie op de Buitenratel nog vrij ver van de kust ligt, heeft het feit dat de gemeten lokale diepte er slechts 4.5m t.o.v. LAT is en de diepte in het model zelfs iets kleiner is (4.1m t.o.v. LAT) wel degelijk een invloed op het bekomen resultaat. De relatief kleine verschillen tussen de werkelijke bathymetrie en de bathymetrie die gebruikt is in het model, leiden tot vrij grote verschillen in het modelresultaat. Wellicht krijgen we daardoor ook sneller golfbreking.
- Uit de tijdsreeksen verkregen door de WHI boei, blijkt dat de gebeurtenissen komende uit het westen, zuidwesten en noordoosten niet volledig worden gereproduceerd door het model op deze locatie (zie voor CM50 en CM52 Hm0 en de piekgolfrichting op WHI voor 7-8 maart, 28 maart, 16-19 april en 5-6 mei in ANNEX 3. TIJDREEKSEN VAN DE VOLLEDIGE MAAND MODEL BELANGRIJKSTE GOLFPARAMETERS). Ook de WAM randvoorwaarden slagen er niet in om deze golfcondities ter hoogte van de WHI boei goed te modelleren (zie CW50 op dezelfde plots). Deze minder goede overeenkomst van de randvoorwaarden impliceert ook onnauwkeurige simulaties voor deze gebeurtenissen op andere locaties voor alle gevallen. Wat betreft deze maanden, wijken zowel de via WAM gesimuleerde als de “gemeten” randvoorwaarden af van de werkelijk gemeten golfcondities. Noteer dat voor de “gemeten” randvoorwaarden enkel de inkomende golven in het domein worden opgelegd. De uitgaande golven worden intern door het SWAN model gegenereerd.
- De simulatie van de piekgolfrichting volgt redelijk goed de gemeten patronen (Figuur 3.3, Figuur 3.6 en Figuur 3.9 in ANNEX 3. TIJDREEKSEN VAN DE VOLLEDIGE MAAND MODEL BELANGRIJKSTE GOLFPARAMETERS). Zoals verwacht, geeft CW50, in het bijzonder wanneer plotse veranderingen van richting voorkomen, minder nauwkeurige piekgolfrichtingen ter hoogte van de WHI boei (zie Figuur 3.6 tijdens de periode 3-10 april). Dit zorgt ook voor een afwijking in de piekgolfrichtingen ter hoogte van BRB5DB en BRB2DB. Het is verder ook interessant om de piekgolfrichtingen verkregen door BRB2DB, wanneer noordelijke condities gelden voor enige tijd (zie Figuur 3.3 en Figuur 3.6 voor de periode 14-21 maart en 16-23 april), te bekijken. De boei vertoont een oscillatie van de piekgolfrichting die wellicht het gevolg is van de verandering in refractie door getijdenwerking. Alhoewel de modelsimulaties (alle settings) ook oscillaties vertonen, slaagt geen van hen erin om deze oscillaties in piekgolfrichting correct te simuleren.

Op basis van de stormsimulaties (komende uit NNW richting) en de nieuwe benadering waarbij de stormcondities geëvalueerd worden aan de hand van de S-score indicator, kan volgende nuttige informatie gedistilleerd worden:

- De S-score kan helpen bij de selectie van de stormperiodes die bij voorkeur in aanmerking voor de verdere analyse van de dissipatieprocessen. Indien de S-scores te laag is, wijst dat op een grote discrepantie in vorm tussen het gemodelleerde en het gemeten energiespectrum. Dergelijk grote discrepantie is wellicht eerder te wijten aan andere verschillen dan aan verschillen in de grootte van de dissipatieprocessen door bodemwrijving of dieptebreking, zoals in het bijzonder het verschil in windrichting en dus ook in golfrichting in het model en in werkelijkheid. Daarom werd, na het zorgvuldig bekijken van de tijdsreeks voor de S-scores en het vergelijken van de gemeten met de gemodelleerde energiedichtheidsverdeling (zie bijvoorbeeld Figuur 1.3), de stormperiode dat voor de verdere analyse en voor de berekening van de statistieken in rekening wordt genomen bijgesteld t.o.v. de vroegere stormcriteria. Voor de geselecteerde stormen in de periode maart-mei betreft dit volgende periodes:

- Periode voor de storm in maart: 21-Mar-2015 14:00:00 - 22-Mar-2015 07:00:00
- Periode voor de storm in maart/april: 31-Mar-2015 21:00:00 – 01-Apr-2015 14:00:00

Deze identificatie zal ons verder helpen bij het begrijpen van de huidige modeleringsbeperkingen. Voor de ogenblikken met lage S-scores (die wellicht verwijderd zullen worden uit de stormperiodes) moet de modelleringsinput in meer detail onderzocht worden om na te gaan wat de redenen zijn voor dit slecht gedrag. Wij denken hierbij aan een verschil in de in het model gebruikte wind versus de lokaal gemeten wind (zie hierboven en ook item 1 bij aanbevelingen voor verder onderzoek), en aan verschillen in gemeten en gemodelleerde waterstand.

- De slechte S-scores helpen ook om na te gaan wanneer het model of de boeien verkeerde of onbetrouwbare energiepatronen vertonen. In de tweede storm geeft BRB4GB een abnormale en geïsoleerde slechte S-score weer, die overeenkomt met de outliers die bij deze boei van tijd tot tijd voorkomen. Wanneer de specifieke ogenblikken bekeken worden waarvoor deze lage S-score voorkomt op deze locatie (zie Figuur 4.18 in ANNEX 4), blijkt dat de energieverdeling in de metingen energie vertoont bij zeer lage frequenties, wat in werkelijkheid niet kan voorkomen.

Merk ook op dat de huidige implementatie van de modellenset nauwkeuriger resultaten geeft in vergelijking met die van uit de vroegere BOREAS studie.

5.2. Aanbevelingen voor verder onderzoek

Een eventueel minder goede overeenkomst tussen de gemeten en gemodelleerde spectra kon tot nu toe enkel gedetecteerd worden via geïntegreerde parameters (significante golfhoogte en gemiddelde periode). Daarenboven was het moeilijk om te weten waar de modellering kon bijgestuurd worden. Door middel van het berekenen van de S-score voor de geselecteerde stormen, werden enkele beperkingen bij het reproduceren van de golfspectra geïdentificeerd. Sommige andere parameters worden best geplot en geanalyseerd in parallel met de S-scores, in het bijzonder de gemiddelde richting voor de golfspectra, de gemeten lokale wind en de ERA-Interim wind, die momenteel wordt gebruikt om de modellen aan te drijven. Na het vergelijken van de huidige S-scores (zowel de tijdsreeksen als de 1D spectra plots), wordt verwacht dat het kuststrookmodel aangedreven met de lokaal gemeten wind (hogere resolutie in tijd) de S-score en dus ook de andere modelleringsindicatoren zal verbeteren.

Door de implementatie van de S-score (onderzoeksaanbeveling 8 uit het vorige onderzoeksproject 212176) wordt verduidelijkt dat de implementatie van lokaal gemeten wind (onderzoeksaanbeveling 6) sterk aan te bevelen is. De andere aanbevelingen voor verder onderzoek uit het rapport 212176-R06-20150515 worden hieronder niet herhaald, maar blijven uiteraard wel geldig.

6. REFERENTIELIJST

- Dabbi, E. P., Haigh, I. D., Lambkin, D., Hernon, J., Williams, J. J., and Nicholls, R. J. (2015). "Beyond significant wave height: A new approach for validating spectral wave models." *Coastal Engineering*, 100, 11-25.
- Mathys P., De Rouck J., Fernandez L., Monbaliu J., Van den Eynde D., Delgado R., Dujardin A.. Brussels, 2011. Belgian Ocean Energy Assessment (BOREAS). Final Report.: Belgian Science Policy – 157 p. (Research Programme Science for a Sustainable Development).
- Rapport 212176-R01- 20140716: *"Monitoring Broersbank boeidata – datarapport periode december 2013 – maart 2014"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Oktober 2014.
- Rapport 212176-R02-20140625: *"Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode december 2013- maart 2014"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Oktober 2014.
- Rapport 212176-R03- 20141021: *"Monitoring Broersbank boeidata – datarapport periode April-Augustus 2014"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Oktober 2014.
- Rapport 212176-R04-SAT_BRB_20141218: *"Monitoring Broersbank boeidata – datarapport periode Sept-Nov 2014"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, December 2014.
- Rapport 212176-R05-20141216: *"Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode April 2014- Augustus 2014"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, December 2014.
- Rapport 212176-R06-20150228 *"Monitoring Broersbank - Resultaten Modelleren December 2013 - August 2014"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Februari 2015.
- Rapport 212176-R06-20150515 *"Monitoring Broersbank - Resultaten Modelleren December 2013 - Februari 2015"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Mei 2015.
- Rapport 212176-R07-SAT_BRB_20150331: *"Monitoring Broersbank boeidata – datarapport periode Dec 2014- Feb 2015"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Maart 2015.
- Rapport 212176-R08-20150515_update20150228- *"Monitoring Broersbank- Samenvattend verslag (December 2013-februari 2015)"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Mei 2015.
- Rapport 214339-R01-SAT_BRB_20150707- *"Monitoring Broersbank boeidata – datarapport periode Maart-Mei 2015"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Juli 2015.
- Rapport 214339_R02_20151013- *"Monitoring Broersbank boeidata – Satelliet datarapport periode Jun2015- Aug2015"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Oktober 2015.
- Rapport 214339_R03_201512109- *"Monitoring Broersbank boeidata – Ruwe datarapport periode Mar2015- Mei2015"*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, December 2015.

ANNEX 1. SPECTRAL SCORE INDICATOR (S-score)

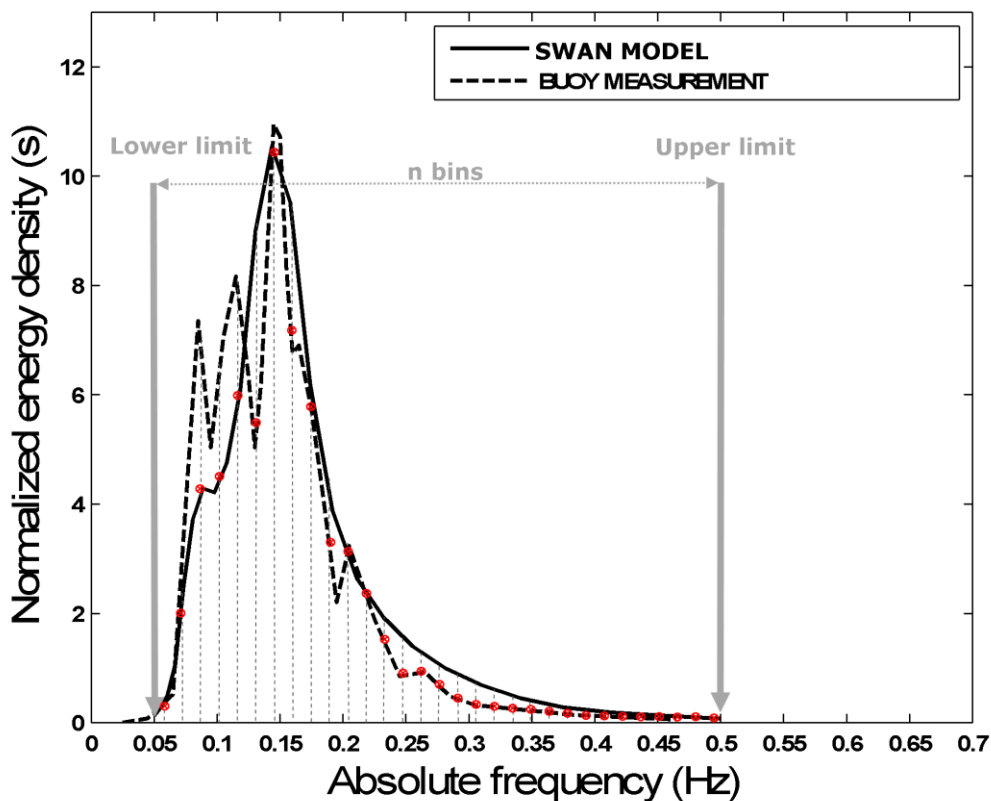
S-score implementatie.

De indicator 'Spectrale Score (S-score)' is een nieuwe kwaliteitsindicator ontwikkeld met het oog op een beter begrip van het gedrag van het model bij het reproduceren van de golfspectra. Het is erop gericht te meten hoe goed het model de reële energieverdeling simuleert en is hoofdzakelijk een vergelijking van de twee (gemodelleerde en gemeten) 1D golfspectra. De S-score wordt als volgt berekend.

- Definieer een standaard frequentievector om de vergelijking te maken. In dit geval werden de 1D frequentiespectra verkregen uit SWAN in het gebied 0.050-0.5Hz, verdeeld in 25 intervallen, als standaard gekozen.
- Interpoleer het geobserveerde spectrum in diezelfde 'n' frequentie-intervallen. Merk op dat door deze interpolatie de energie niet perfect gerepliceerd wordt en er zo energie verloren gaat. Dit is beperkt en zal dus ook maar beperkt invloed hebben op het resultaat. Desalniettemin kan er in deze stap nog een aanpassing gedaan worden met het oog op energiebehoud.
- Normaliseer zowel het model als het gemeten spectrum (oppervlakte onder het genormaliseerde spectrum is gelijk aan 1). Plot beide genormaliseerde spectra.
- Bereken het gebied onder de laagste energie van beide spectra voor elk frequentie-interval. Dit geeft de S-score voor elke tijdstap.

$$S_{score} = \sum_{n=1}^n \min(S_{MODEL}^{normalized}, S_{OBSERVATION}^{normalized}) \Delta f_n$$

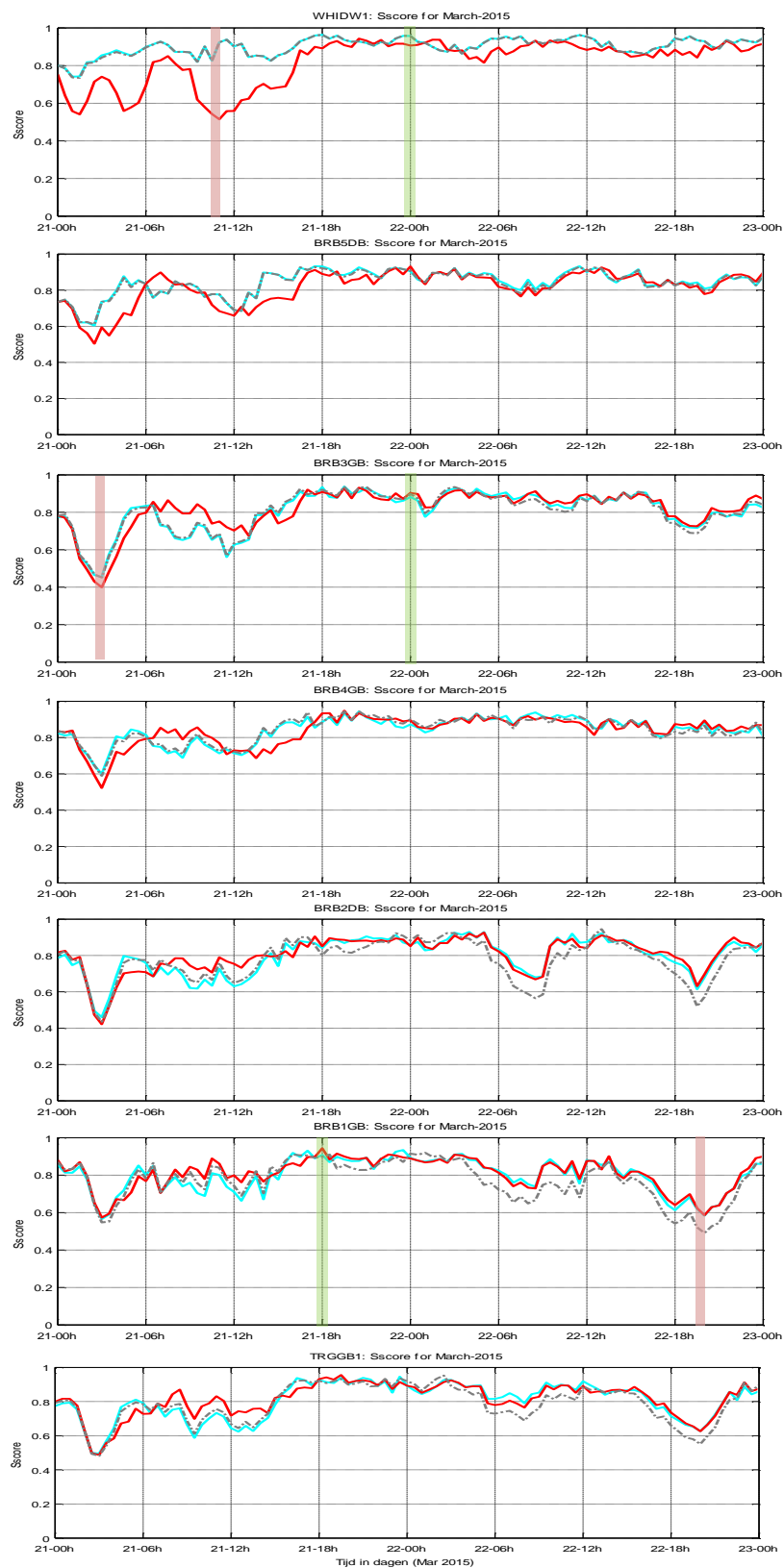
Δf_n is de breedte van het frequentie-interval voor de n-de frequentie in het energiespectrum.



Figuur 1.1. Voorbeeld ter illustratie van de methodologie om de S-score te berekenen.

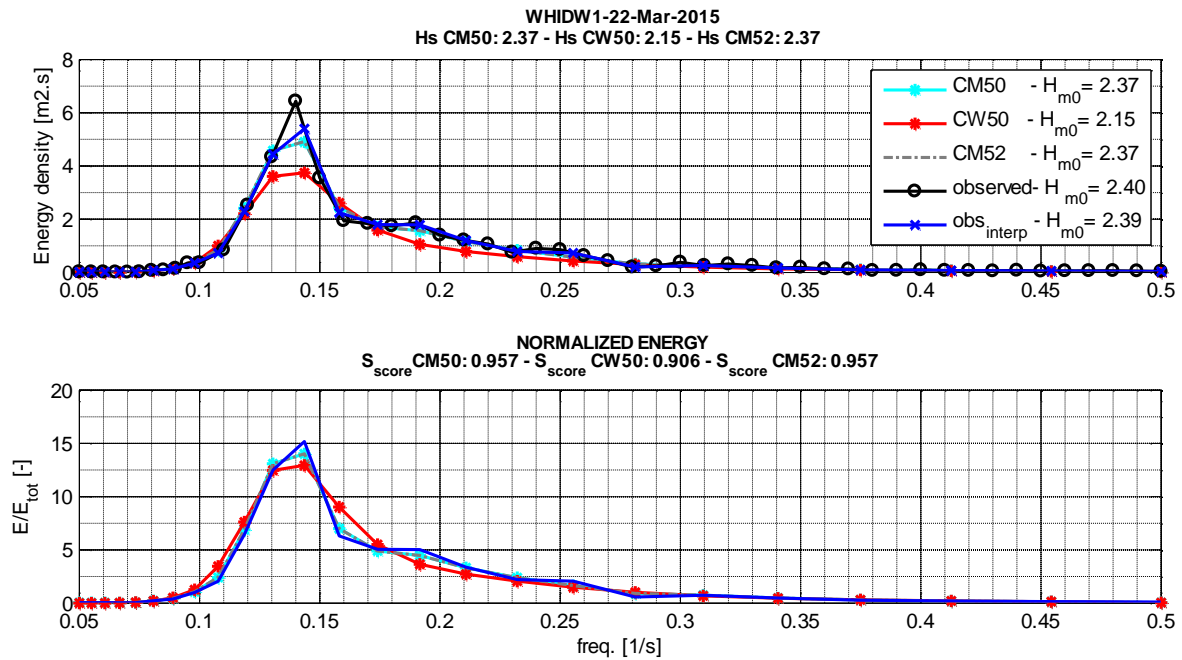
S-score validatie.

De storm van 21-23 maart 2015 werd gebruikt om de doeltreffendheid van de S-score aan te geven bij het reproduceren van de golffrequentiespectra voor de beschouwde modelleringsgevallen. De S-score werd toegepast voor tijdstappen van 30 minuten (metingen gebeuren om het halfuur) voor de 3 gevallen en voor de 7 locaties. Na het bepalen van de S-score tijdsreeks voor elke locatie tijdens deze storm, worden deze resultaten geplot.

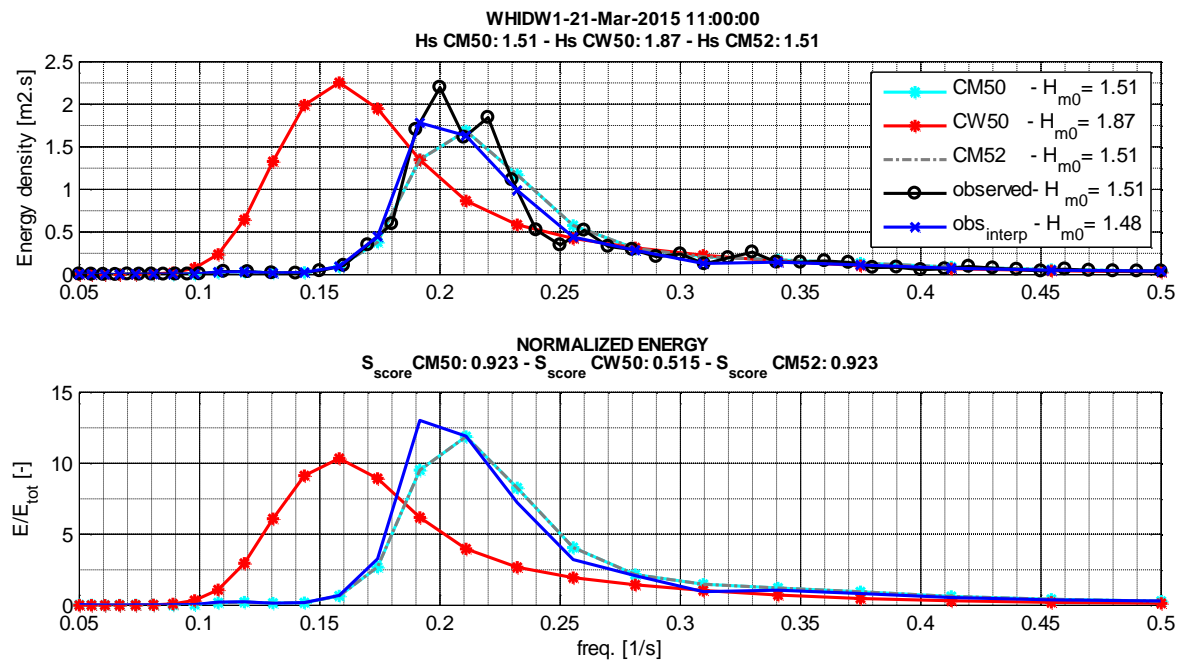


Figuur 1.2. Tijdsreeksen S-score voor de 7 locaties voor de storm van 21-23 maart.

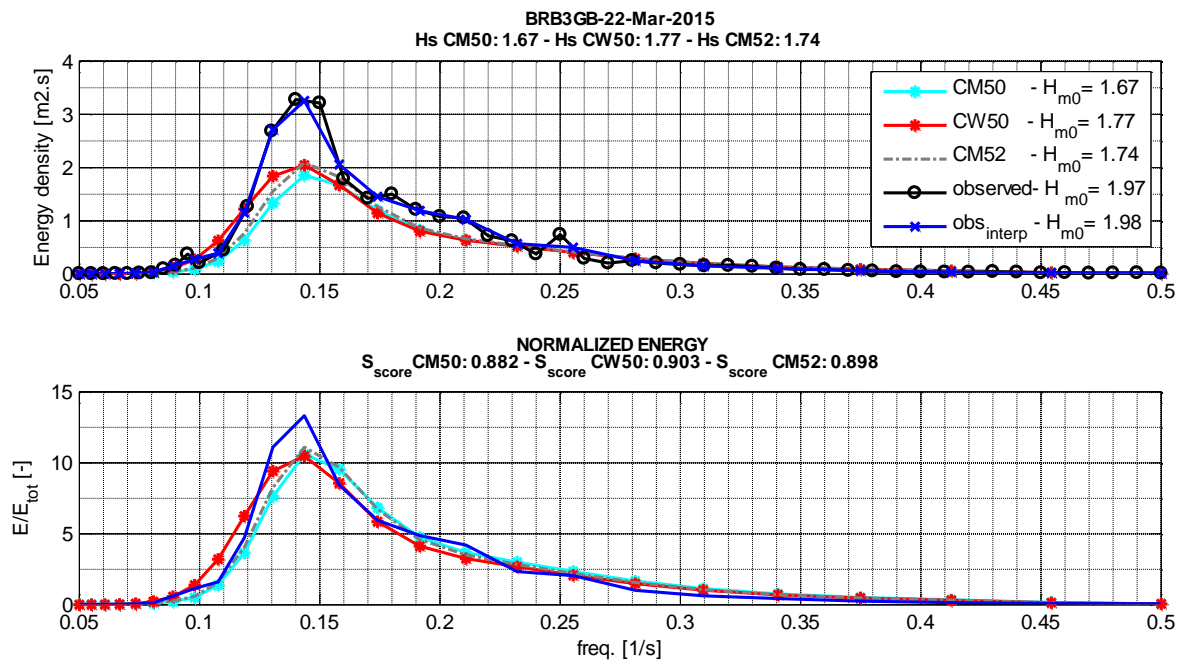
De validatie omvat het maken van plots voor de S-scores (stap b en c) voor elke tijdstap en het visueel controleren of ze de verwachte correlatie met de spectrale golfenergie vertonen (hogere S-score waarden moeten overeenkomen met een betere overeenkomst qua vorm van de spectra). Om deze validatie te illustreren werden enkele specifieke hoge en lage S-scores gemarkeerd. Deze worden hieronder weergegeven (groene en rode banden in Figuur 1.2).



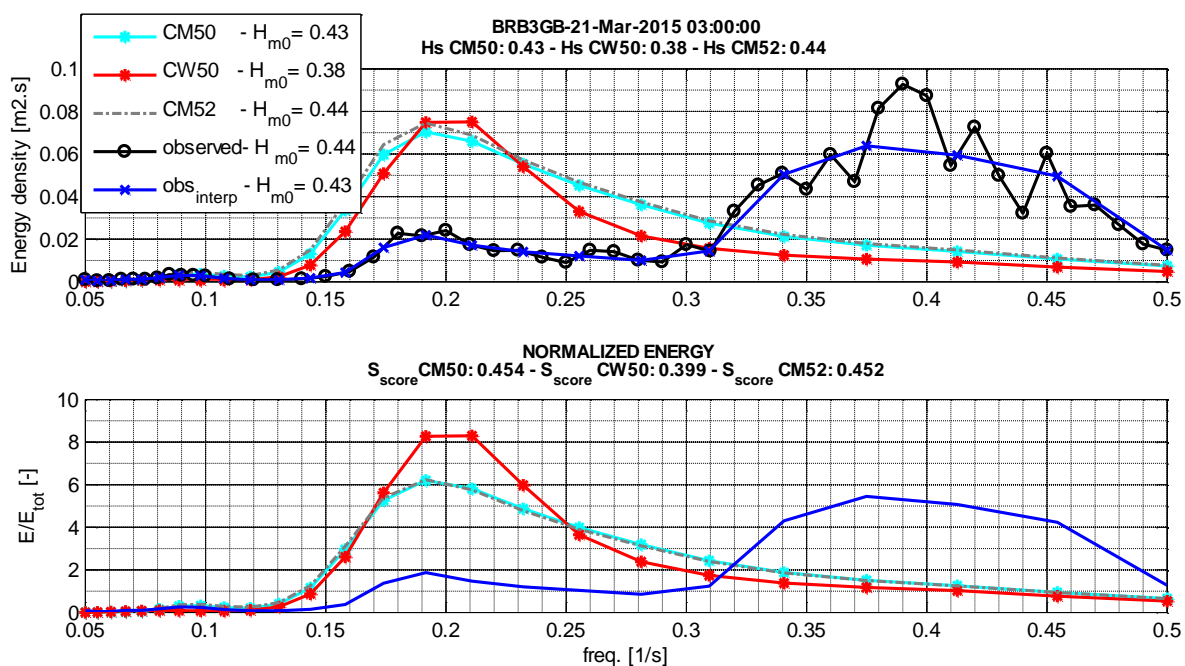
Figuur 1.3. Verdeling energiedensiteit voor de metingen en voor de 3 model settings op locatie WHIDW1 op 22/03/2015-00:00. Bovenste figuur: niet genormaliseerd; de blauwe lijn is de gemeten golfenergiedensiteit geïnterpoleerd op het model frequentiegrid (stap b in de methodologie). Onderste figuur: genormaliseerde energie met aanduiding van de S-score voor elk van de model settings.



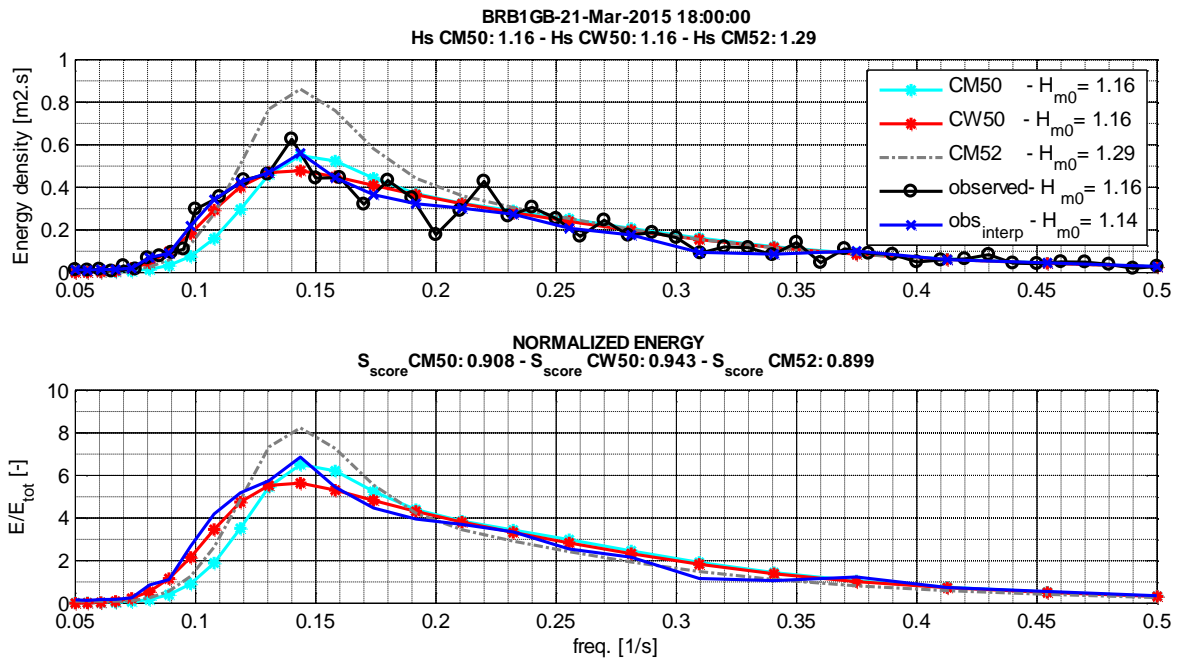
Figuur 1.4. Verdeling energiedensiteit voor de metingen en voor de 3 model settings op locatie WHIDW1 op 21/03/2015-11:00. Bovenste figuur: niet genormaliseerd; de blauwe lijn is de gemeten golfenergiedensiteit geïnterpoleerd op het model frequentiegrid (stap b in de methodologie). Onderste figuur: genormaliseerde energie met aanduiding van de S-score voor elk van de model settings.



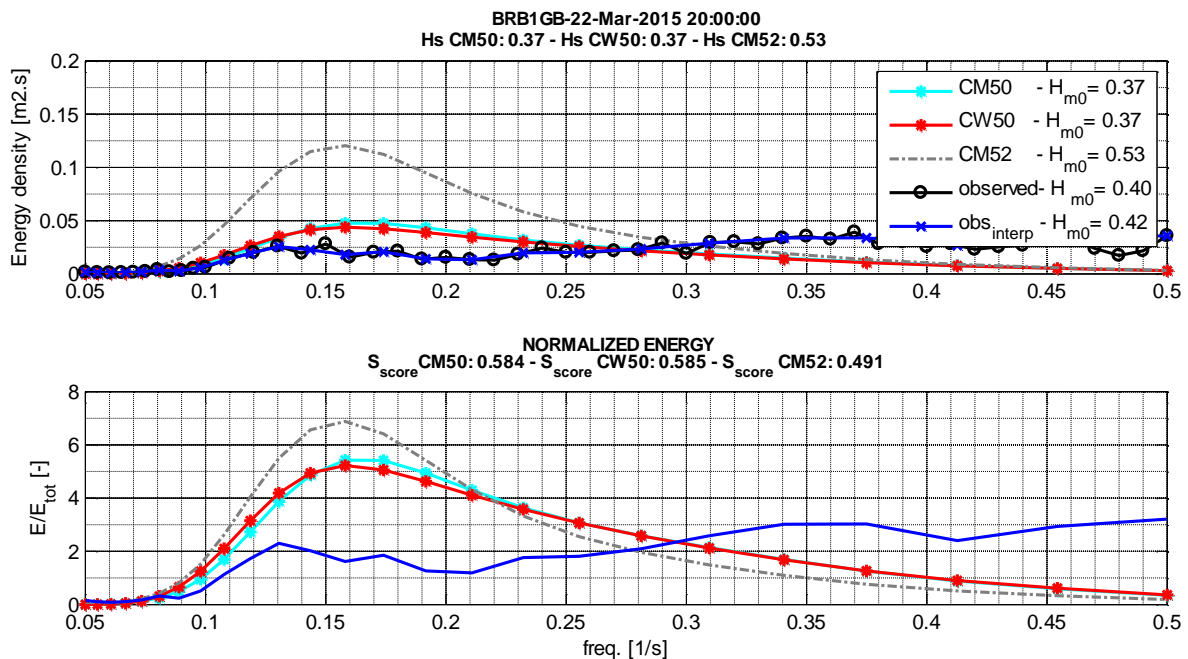
Figuur 1.5. Verdeling energiedensiteit voor de metingen en voor de 3 model settings op locatie BRB3GB op 22/03/2015-00:00. Bovenste figuur: niet genormaliseerd; de blauwe lijn is de gemeten golfenergiesdichtheid geïnterpoleerd op het model frequentiegrid (stap b in de methodologie). Onderste figuur: genormaliseerde energie met aanduiding van de S-score voor elk van de model settings.



Figuur 1.6. Verdeling energiedensiteit voor de metingen en voor de 3 model settings op locatie BRB3GB op 21/03/2015-03:00. Bovenste figuur: niet genormaliseerd; de blauwe lijn is de gemeten golfenergiesdichtheid geïnterpoleerd op het model frequentiegrid (stap b in de methodologie). Onderste figuur: genormaliseerde energie met aanduiding van de S-score voor elk van de model settings.



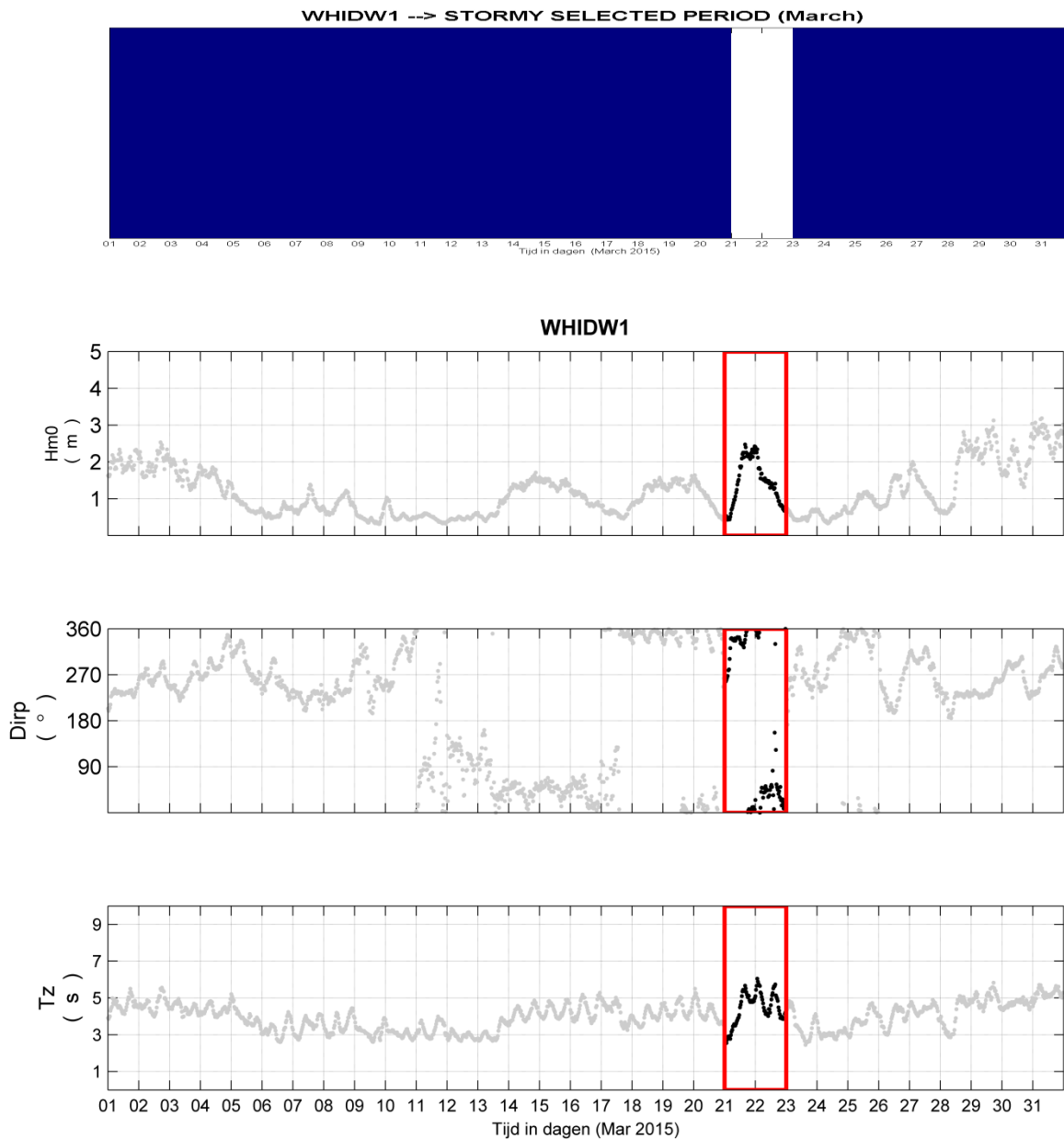
Figuur 1.7. Verdeling energiedensiteit voor de metingen en voor de 3 model settings op locatie BRB1GB op 21/03/2015-18:00. Bovenste figuur: niet genormaliseerd; de blauwe lijn is de gemeten golfenergiesdichtheid geïnterpoleerd op het model frequentiegrid (stap b in de methodologie). Onderste figuur: genormaliseerde energie met aanduiding van de S-score voor elk van de model settings.



Figuur 1.8. Verdeling energiedensiteit voor de metingen en voor de 3 model settings op locatie BRB1GB op 22/03/2015-20:00. Bovenste figuur: niet genormaliseerd; de blauwe lijn is de gemeten golfenergiesdichtheid geïnterpoleerd op het model frequentiegrid (stap b in de methodologie). Onderste figuur: genormaliseerde energie met aanduiding van de S-score voor elk van de model settings.

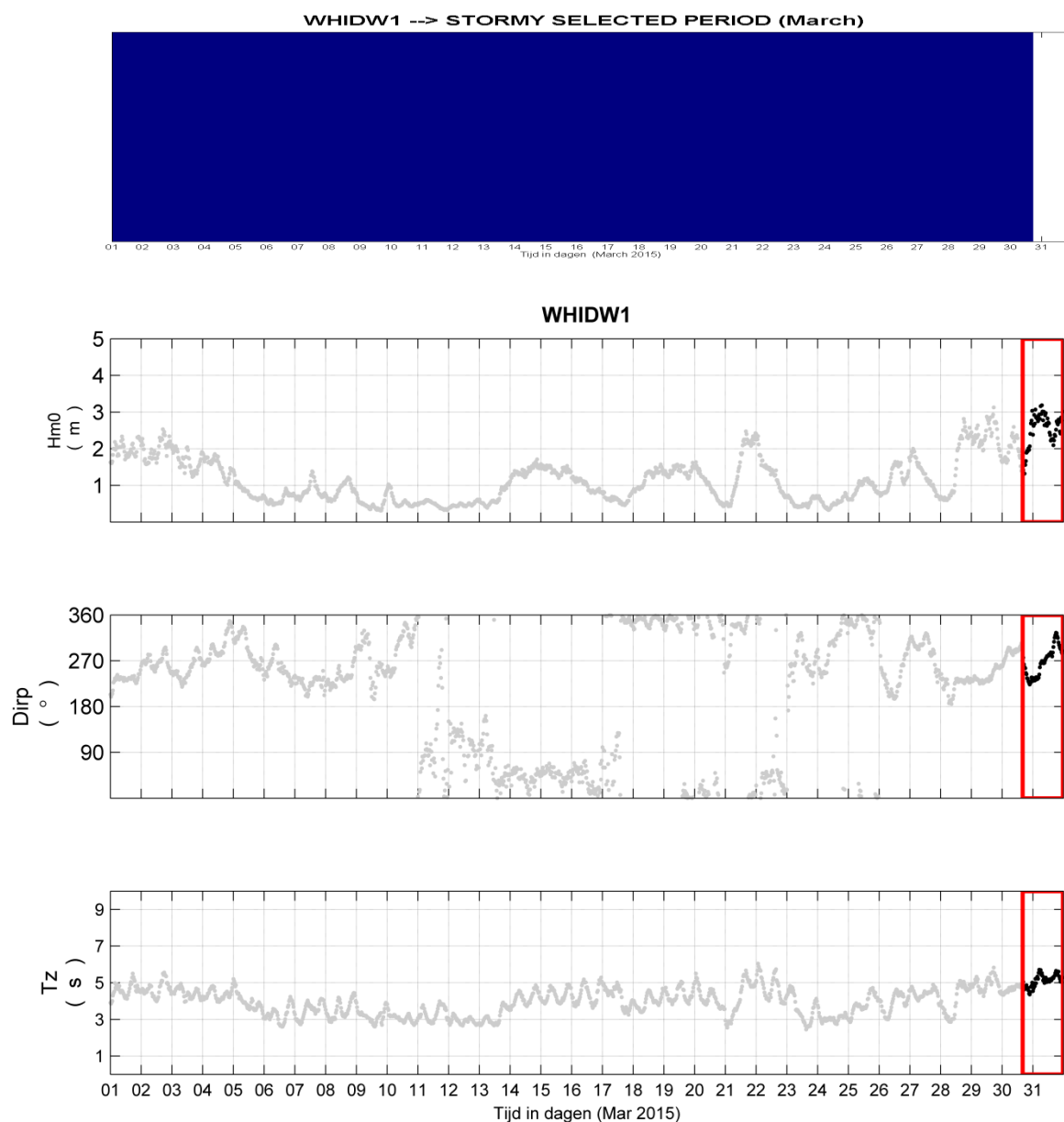
ANNEX 2. GESELECTEERDE STORM CONDITIES (periode maart-mei 2015)

In de maand maart (zie Figuur 2.1) zijn golven uit noordelijke richting overwegend, maar enkel op 21 en 22 maart wordt de golfhoogte op de diepste locaties bijna 2.5m, en wordt de voor deze studie gehanteerde minimum limiet van 2m voor storm overschreden. Deze periode zal dan ook meegenomen worden als storm in de numerieke simulatie, aangezien met de noordwestelijke tot noordelijke richting ook aan het criterium voor de richting wordt voldaan.

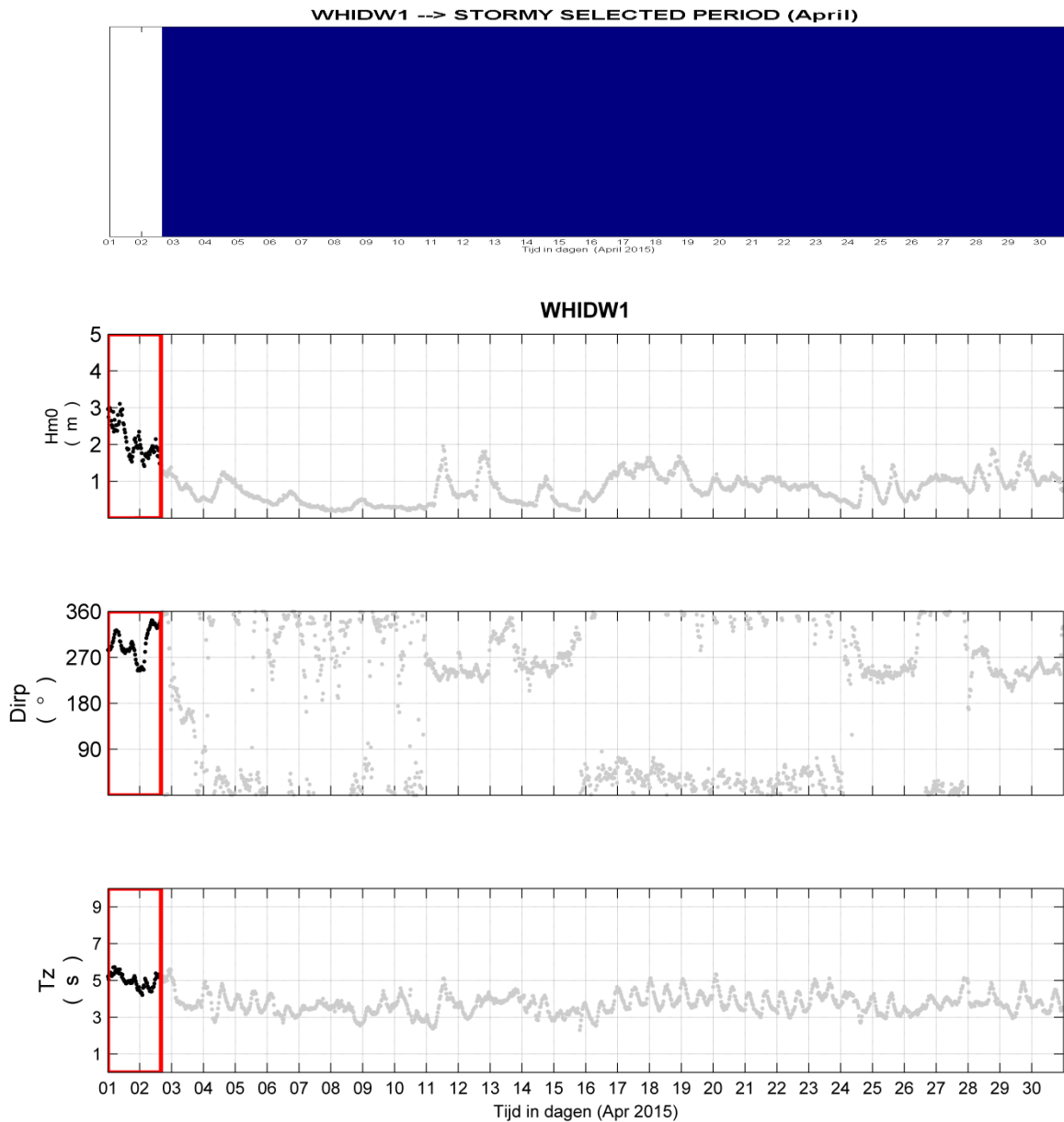


Figuur 2.1. Geselecteerde stormcondities in maart 2015 (WHIDW1 locatie).

Hogere golfhoogtes, evenwel voor golven komende uit westelijke richting, werden waargenomen in de periode van 28 maart tot 2 april 2015. Tweemaal werd zelfs 3m significante golfhoogte overschreden. De eerste dagen van die periode zullen omwille van die westelijke golfrichting niet meegenomen worden als storm voor de latere numerieke modellering. Op 31 maart draaide de golfrichting evenwel naar het noordwesten, zodat het laatste deel van die stormperiode wel kan meegenomen worden voor de numerieke modellering. Op 1 april werden significante golfhoogtes van meer dan 3m genoteerd (zie Figuur 2.2 en Figuur 2.3).



Figuur 2.2. Geselecteerde stormcondities in maart-april 2015 (WHIDW1 locatie). Zie volgende figuur.

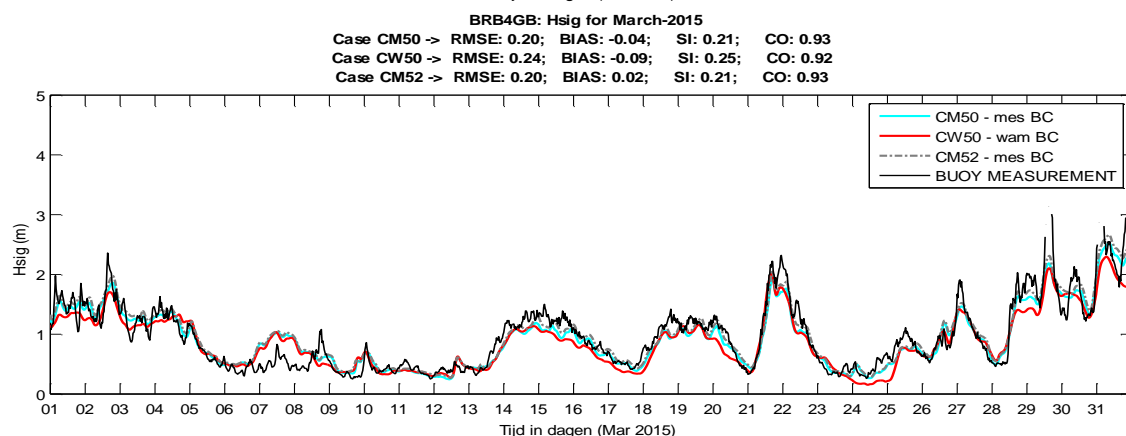
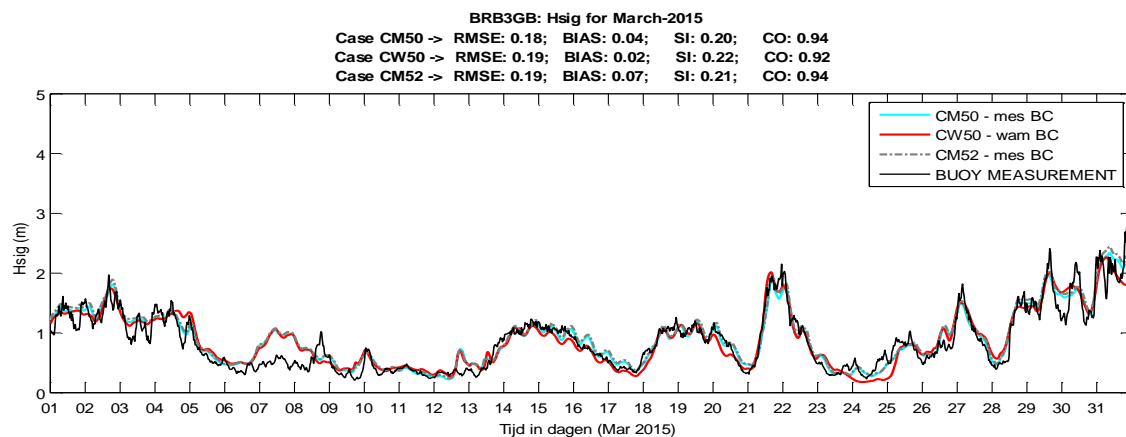
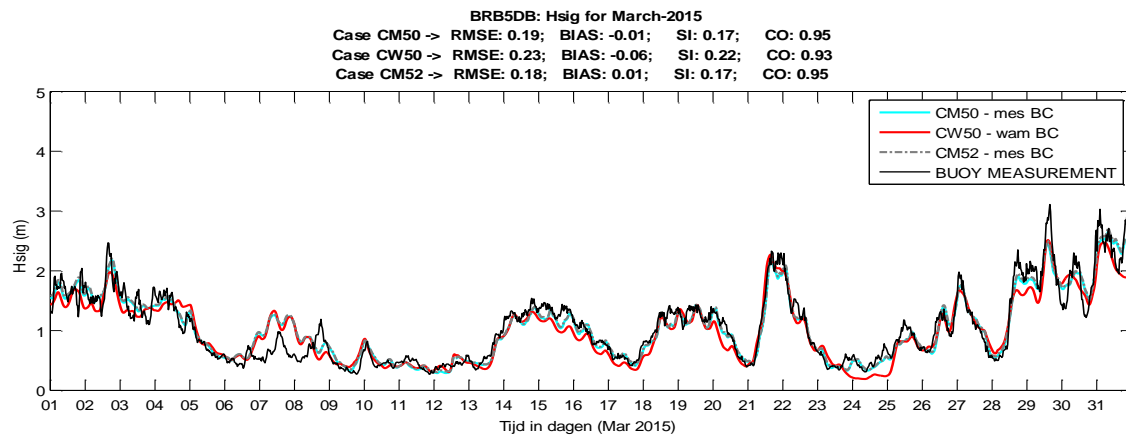
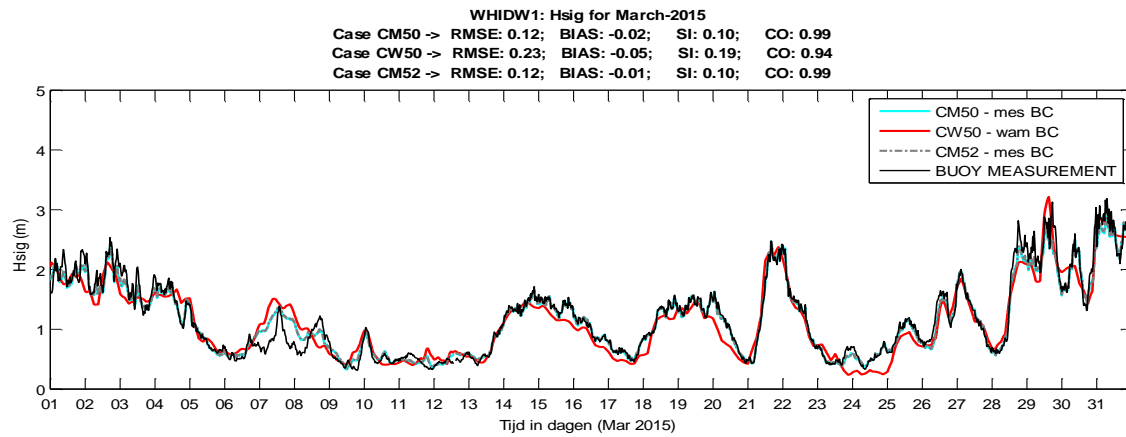


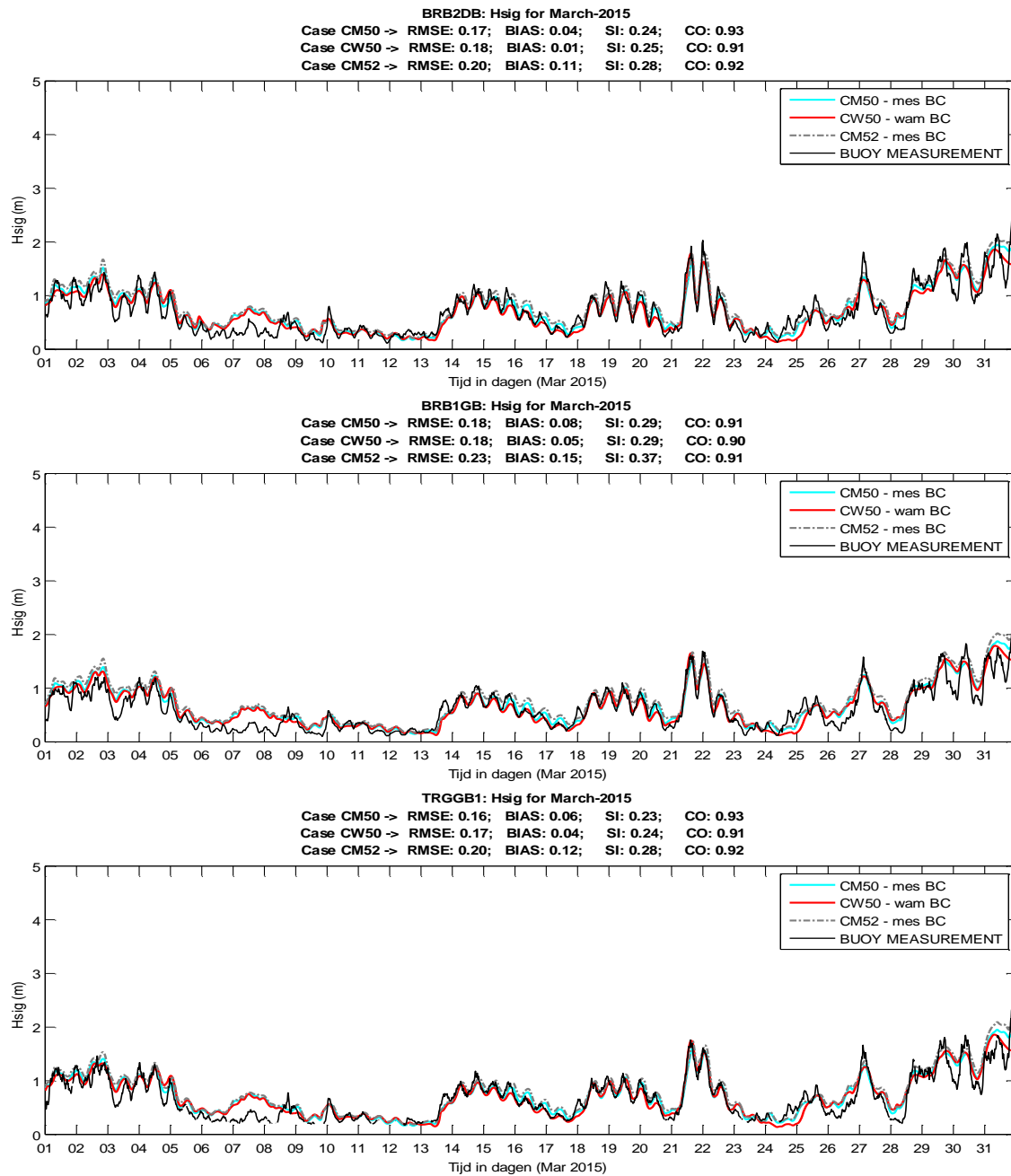
Figuur 2.3. Geselecteerde stormcondities samen voor maart en april 2015 (WHIDW1 locatie). Met vorige figuur.

De rest van de maand april kwamen de golven wel vooral uit noordelijke richting, maar de golfhoogtes bleven lager dan 1.5m. Tussen 16 en 20 april werden wel significante golfhoogtes boven de 1.5m opgetekend, evenwel komende uit eerder noordoostelijke richting.

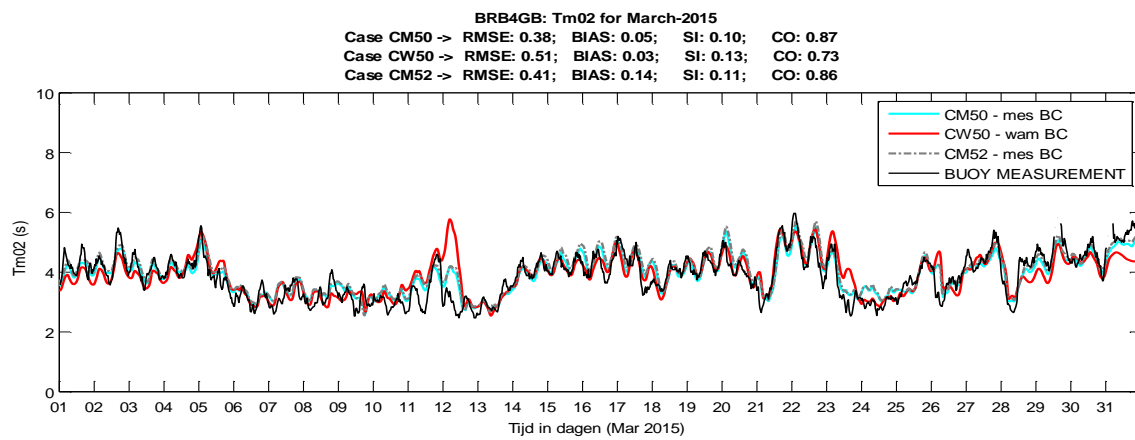
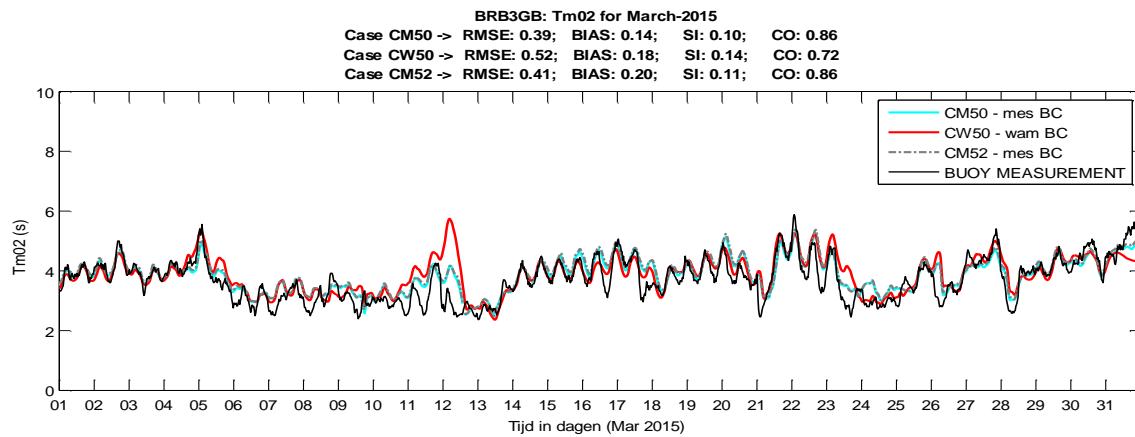
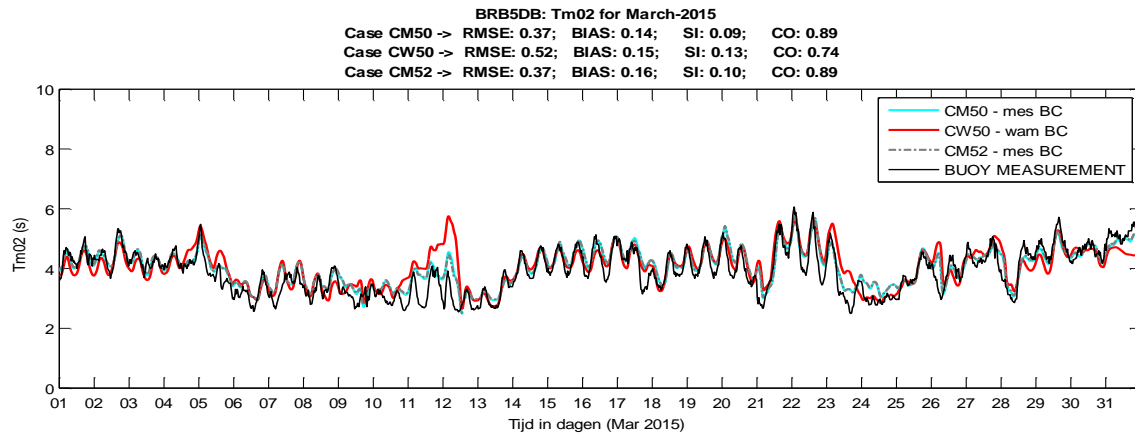
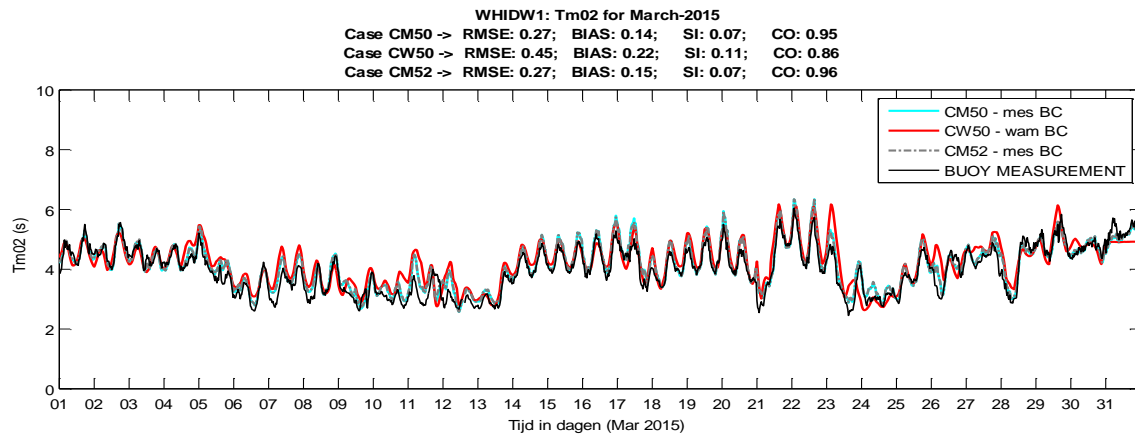
Gedurende de maand mei kwamen de golven alternerend uit noordelijke en westelijke richting waarbij op 5 en 6 mei de hoogste golven (2.5m) werden opgetekend uit westelijke richting. Gezien de richting (niet ongeveer loodrecht op onze kust) zal deze periode niet meegenomen worden als storm bij de numerieke modellering.

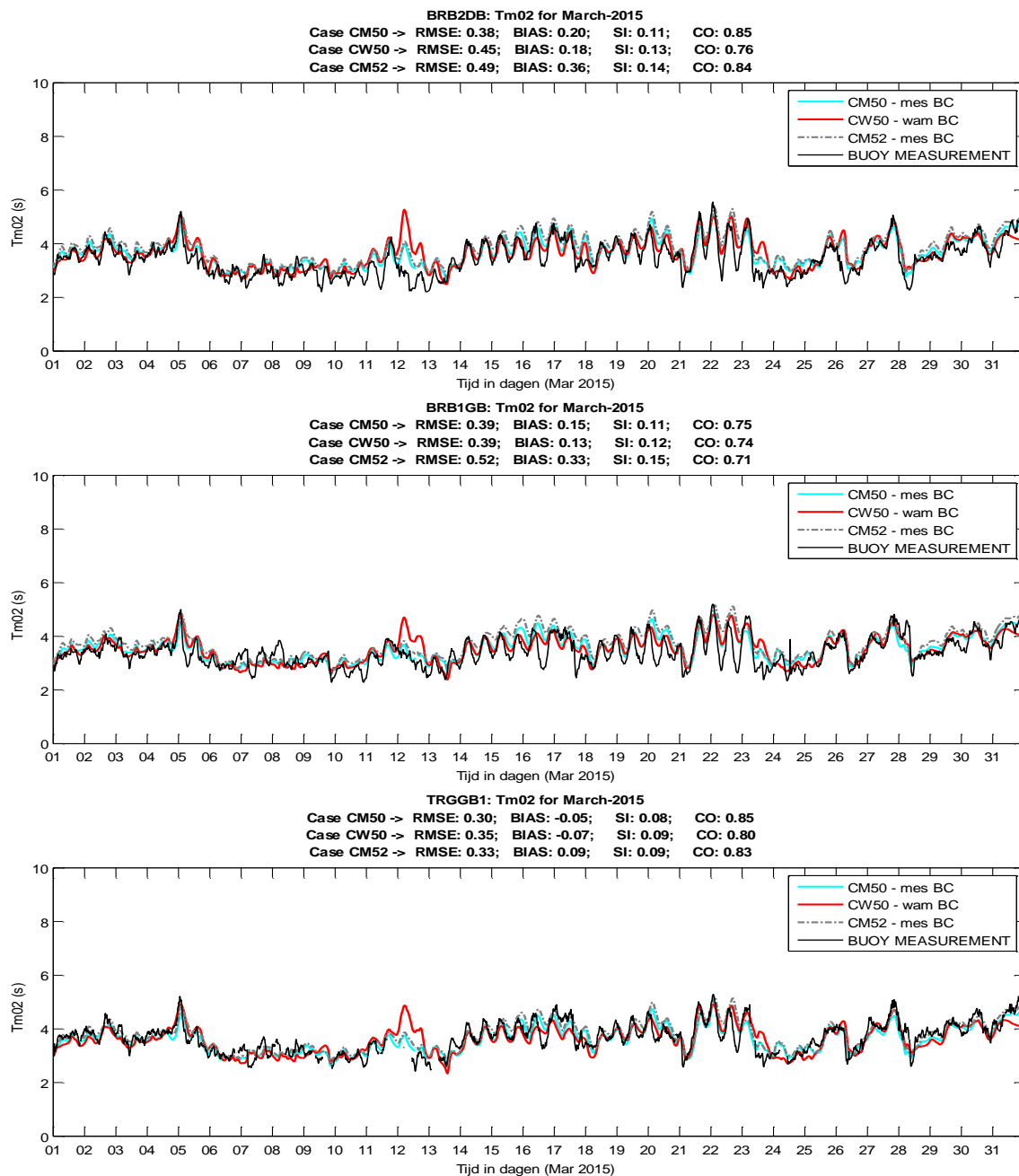
ANNEX 3. TIJDREEKSEN VAN DE VOLLEDIGE MAAND MODEL BELANGRIJKSTE GOLFPARAMETERS



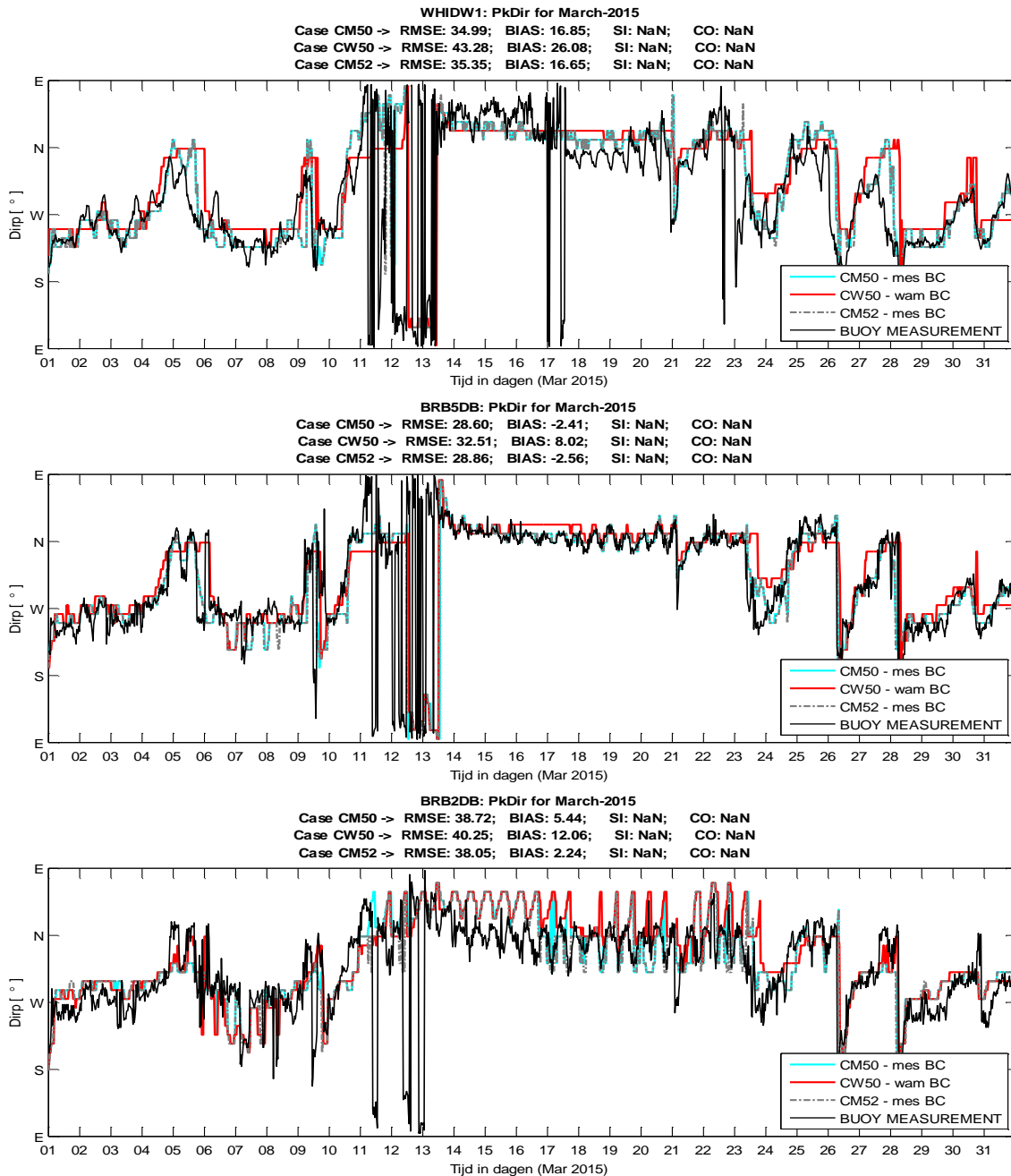


Figuur 3.1. (ook figuren op vorige pagina) Modelresultaat Hm0 simulatie maart 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB2DB, BRB1GB en TRGGB1.

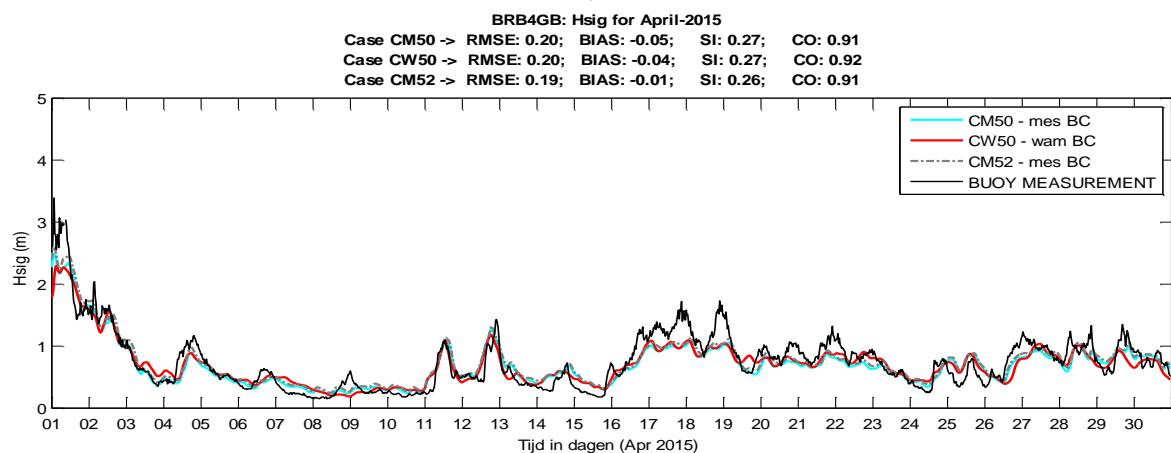
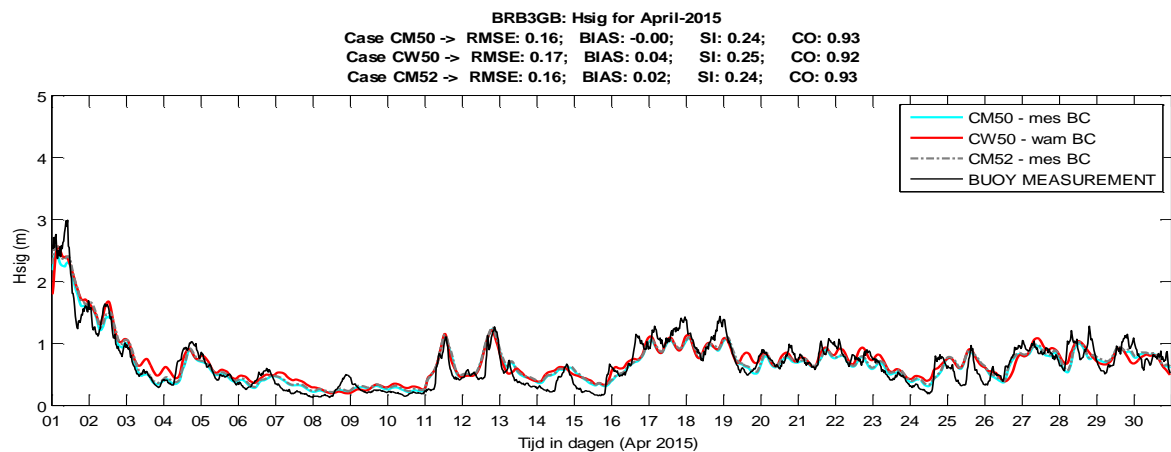
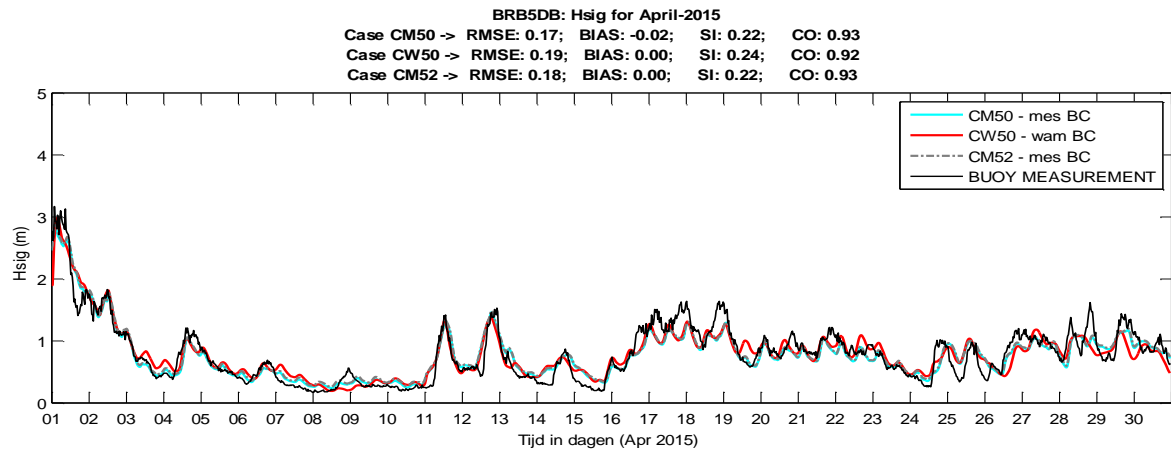
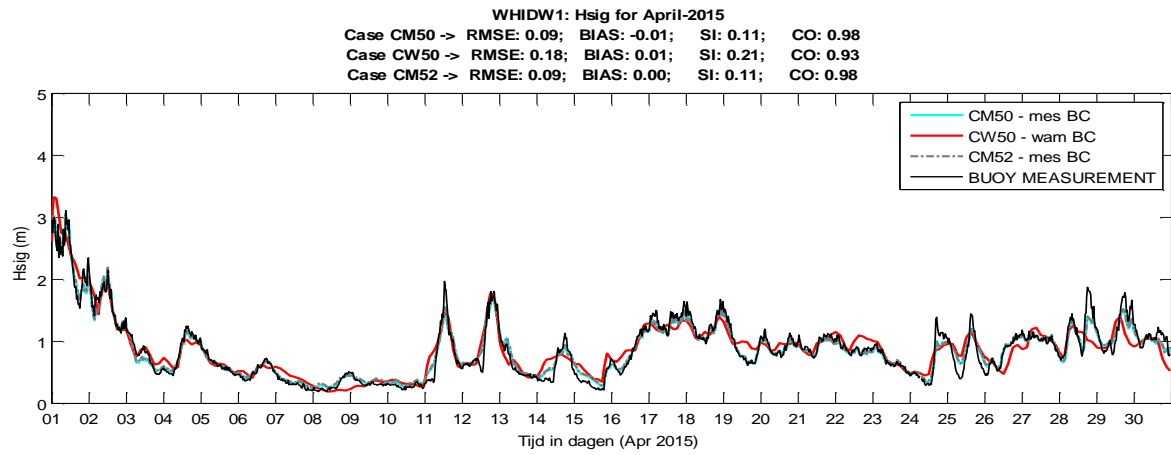


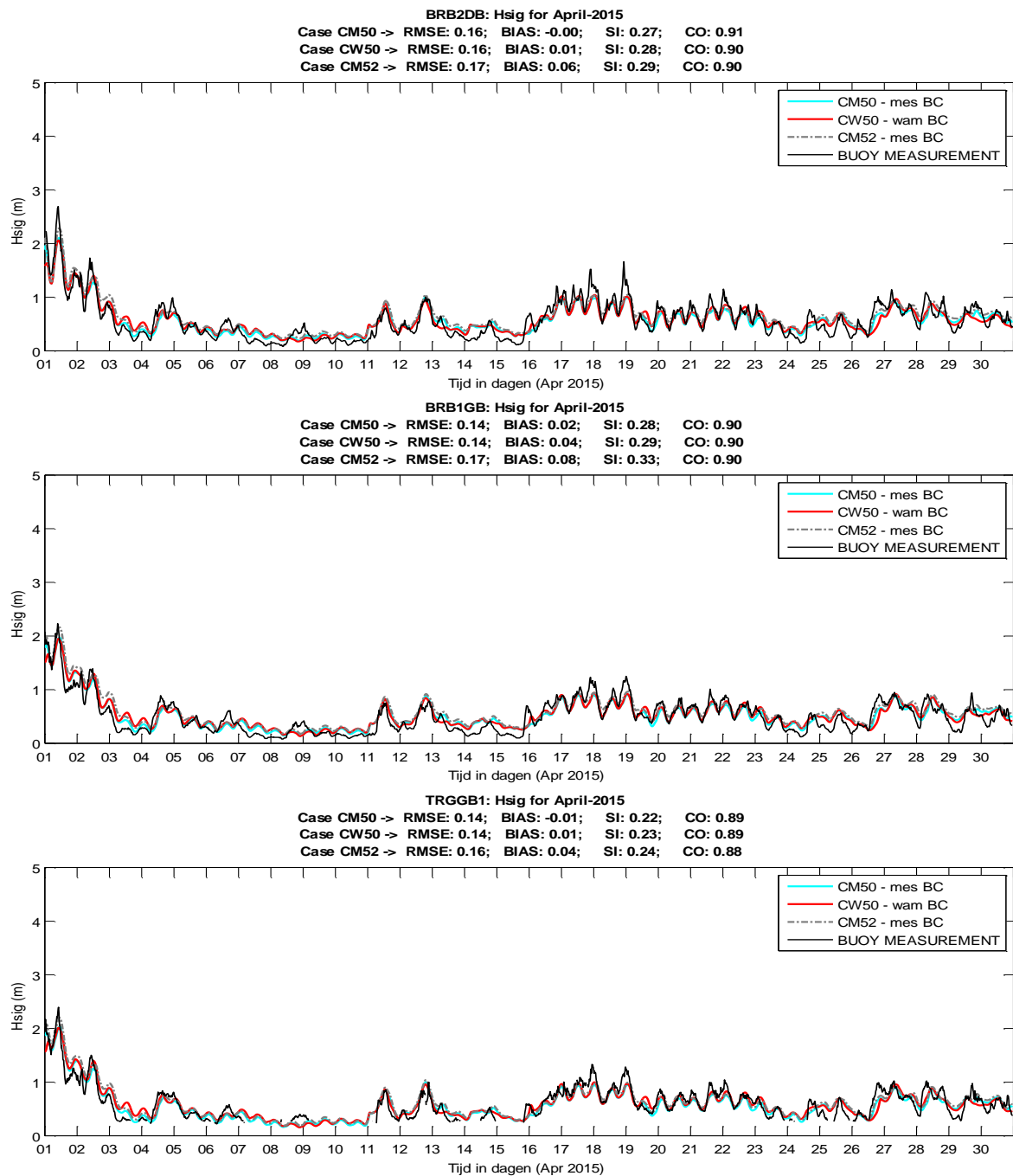


Figuur 3.2. (ook figuren op vorige pagina) Modelresultaat Tm02 simulatie maart 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB2DB, BRB1GB en TRGGB1.

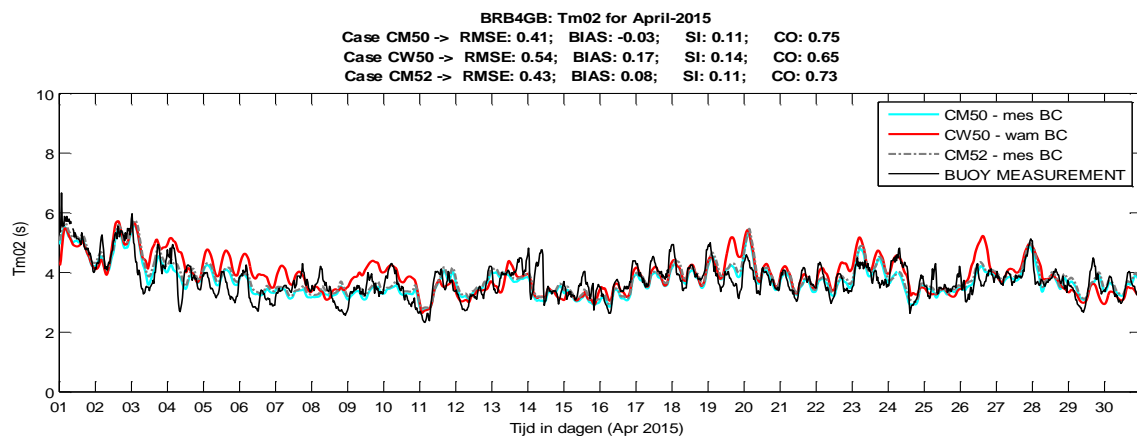
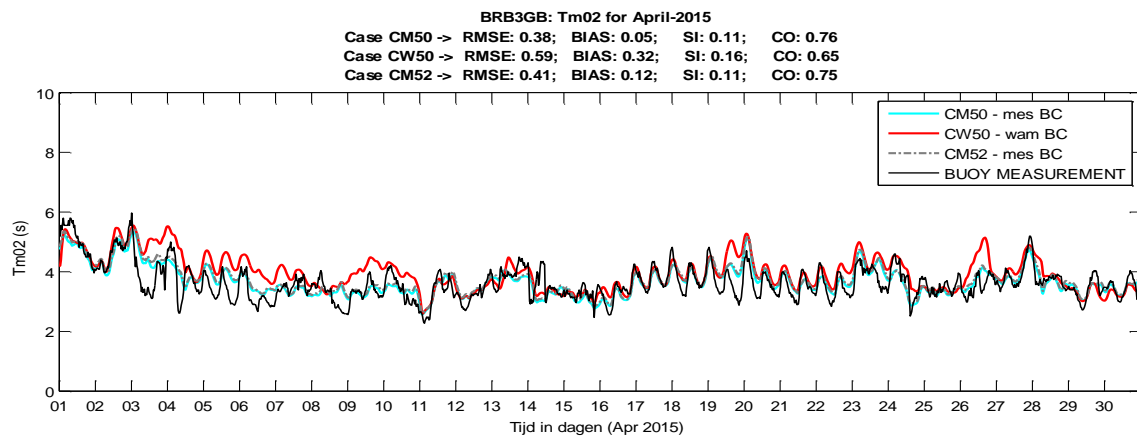
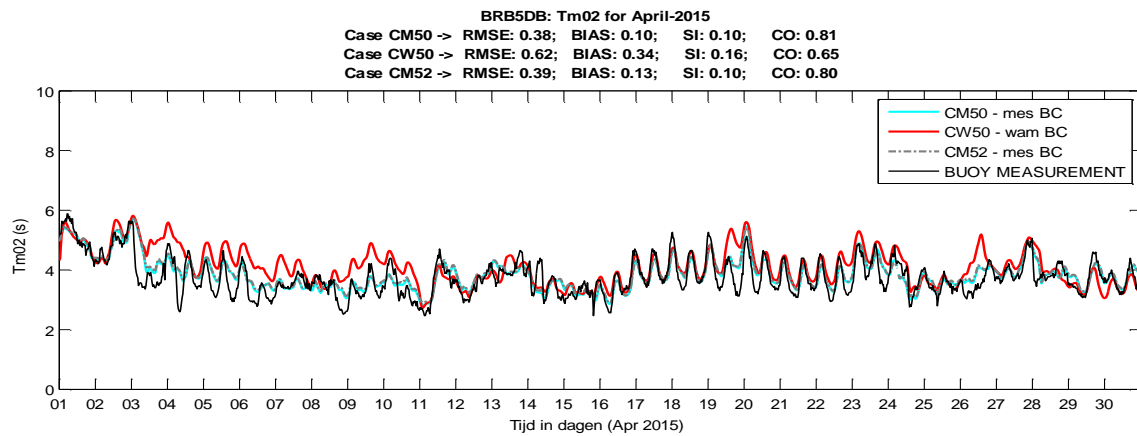
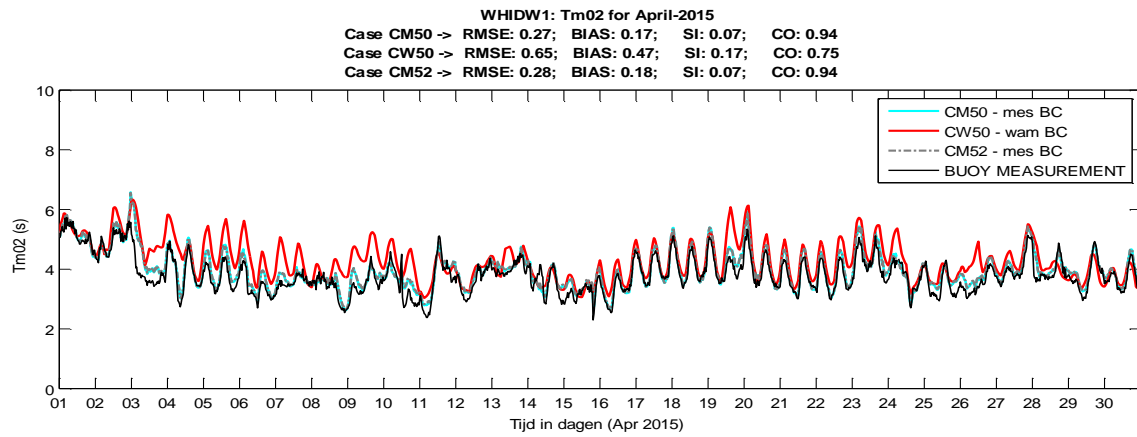


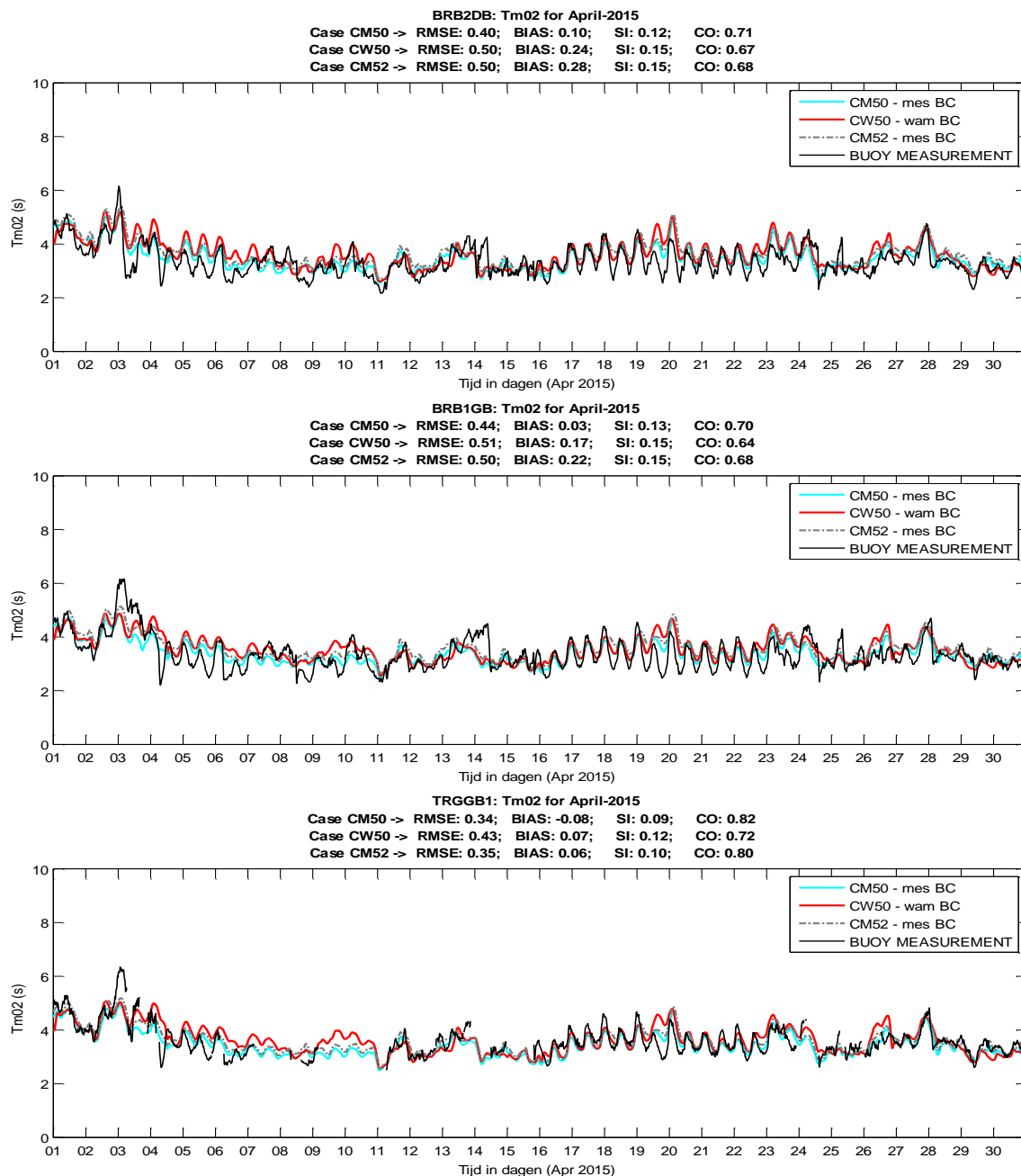
Figuur 3.3. Modelresultaat piekgolfrichting simulatie maart 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB en BRB2DB.



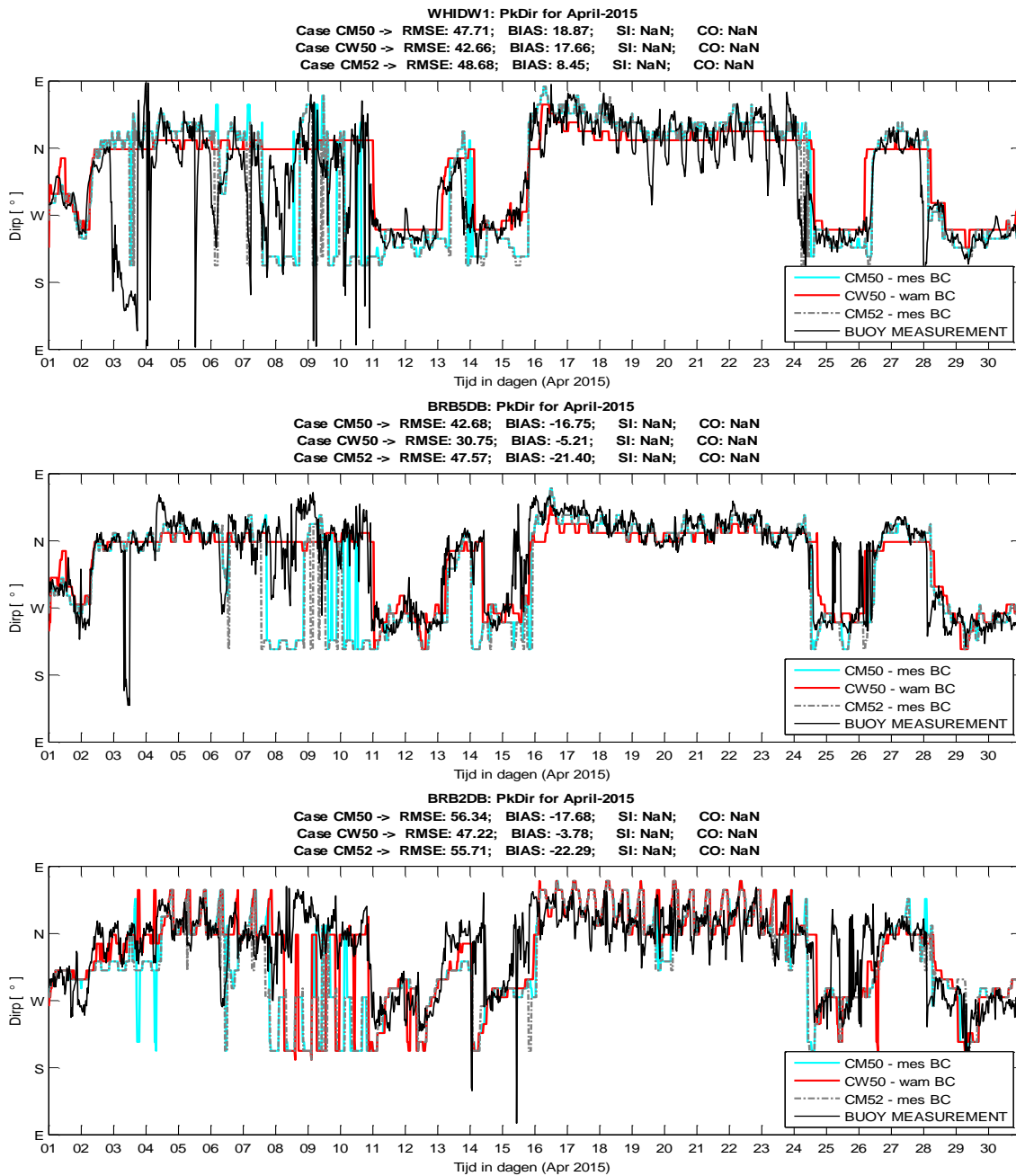


Figuur 3.4. (ook figuren op vorige pagina) Modelresultaat Hm0 simulatie April 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB2DB, BRB1GB en TRGGB1.

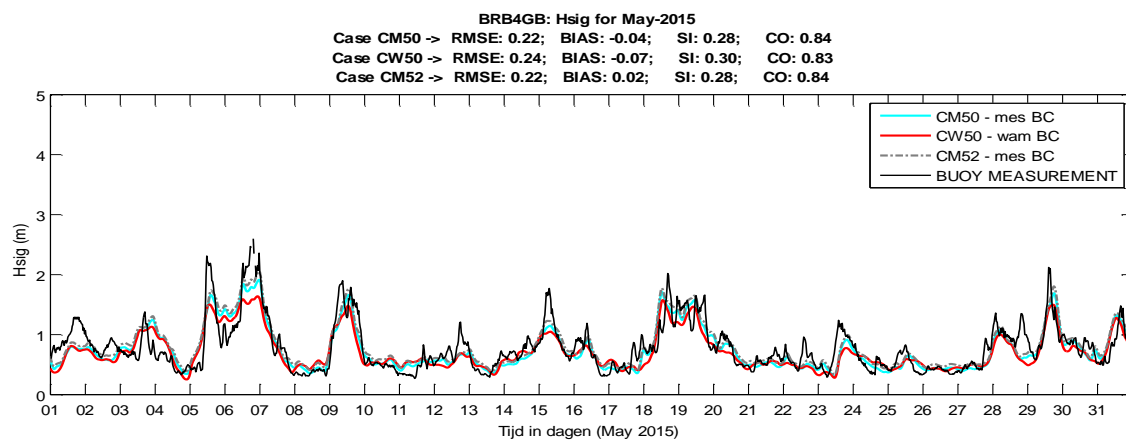
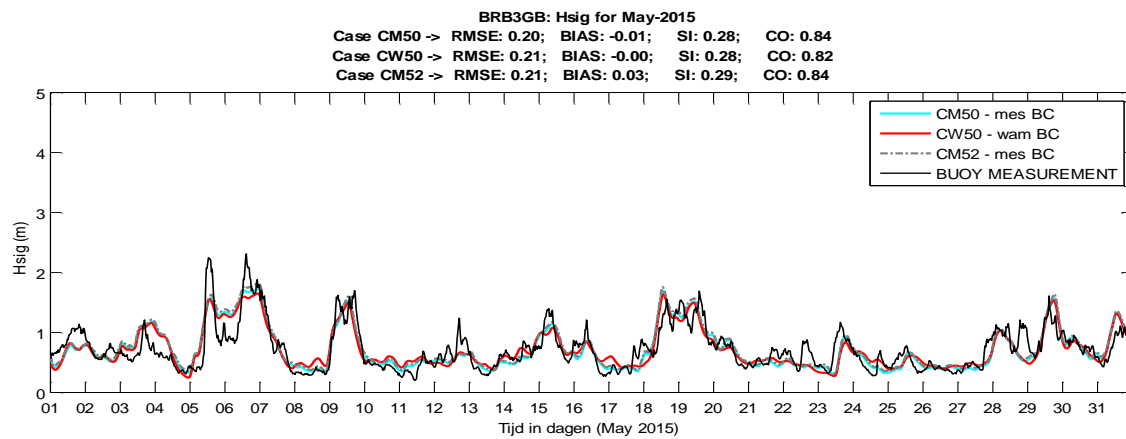
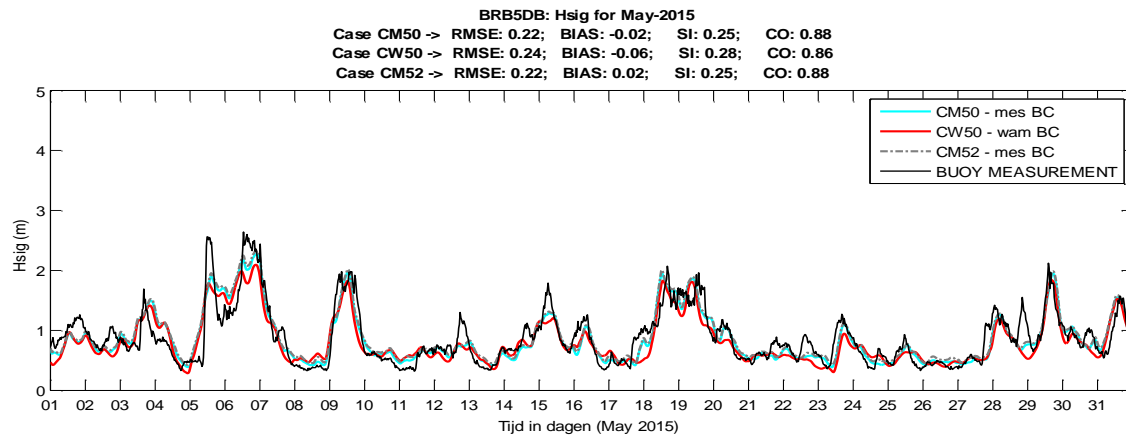
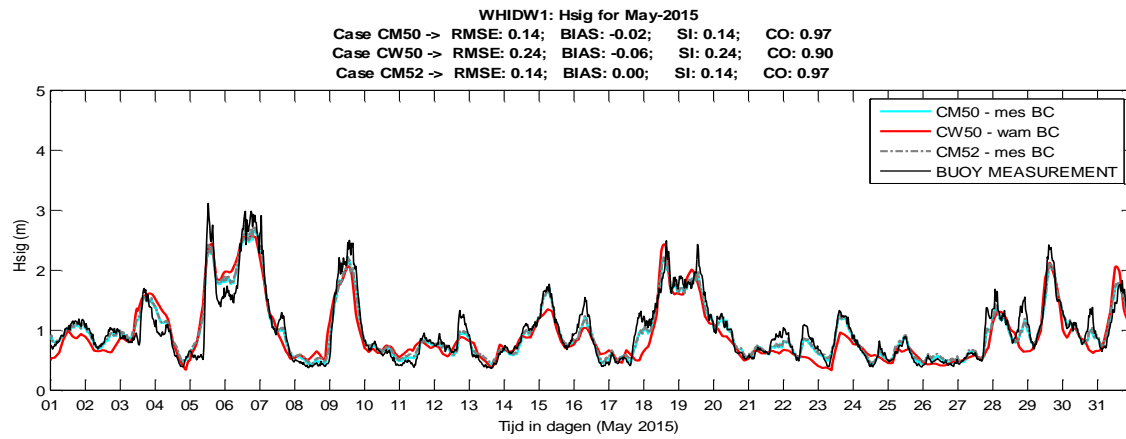


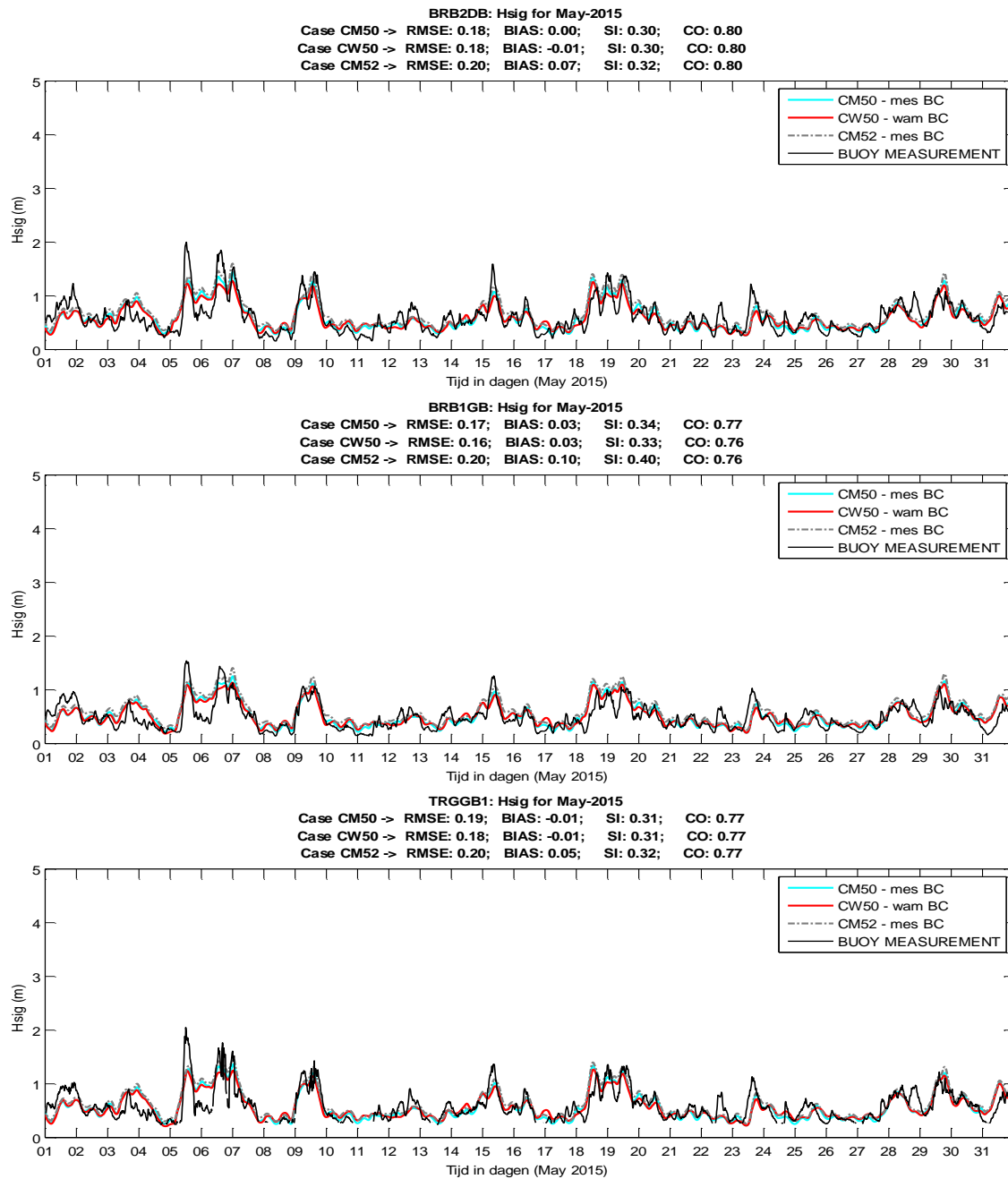


Figuur 3.5. (ook figuren op vorige pagina) Modelresultaat Tm02 simulatie april 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB2DB, BRB1GB en TRGGB1.

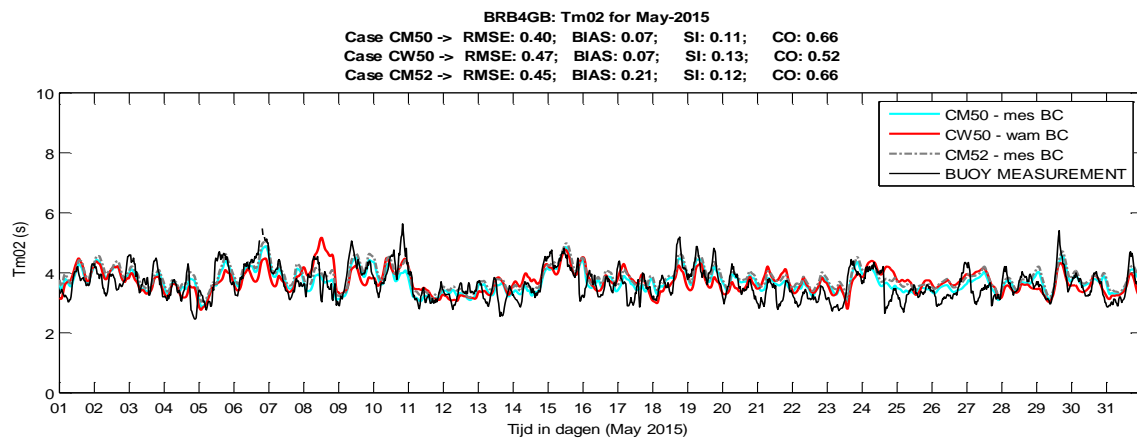
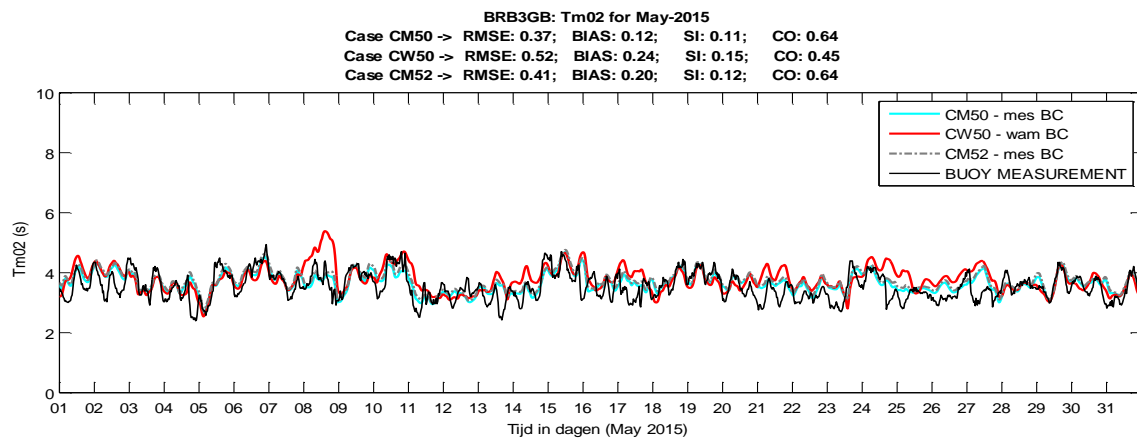
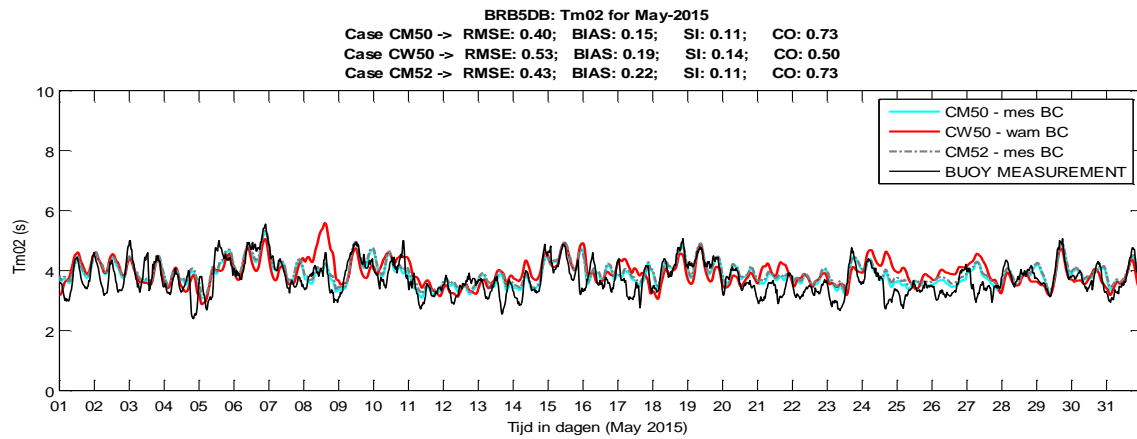
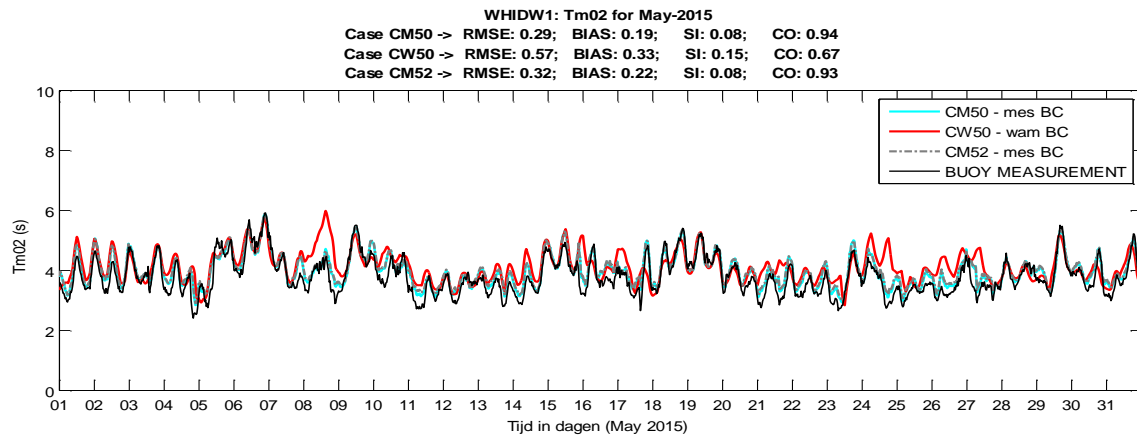


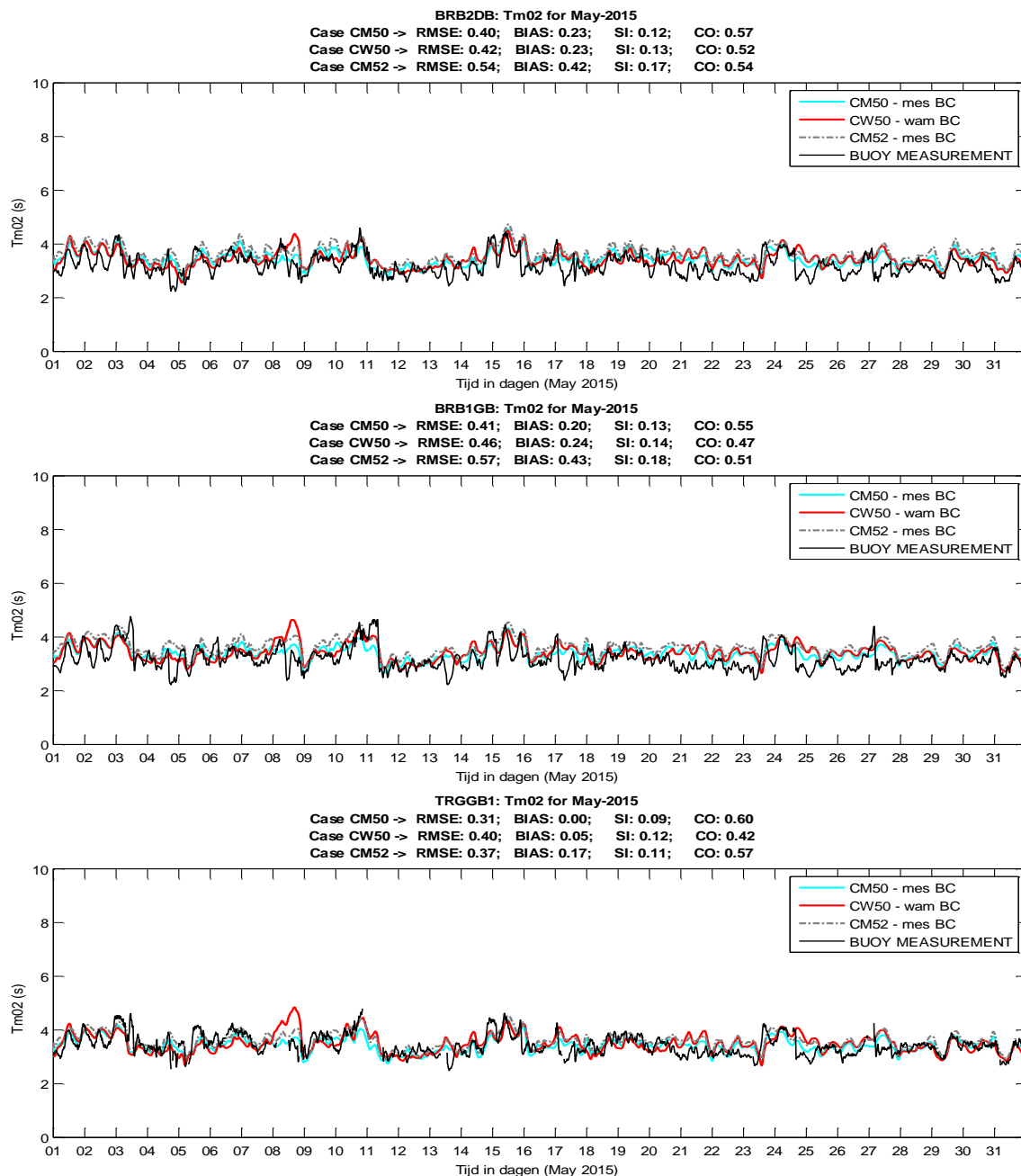
Figuur 3.6. Modelresultaat piekgolfrichting simulatie april 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB en BRB2DB.



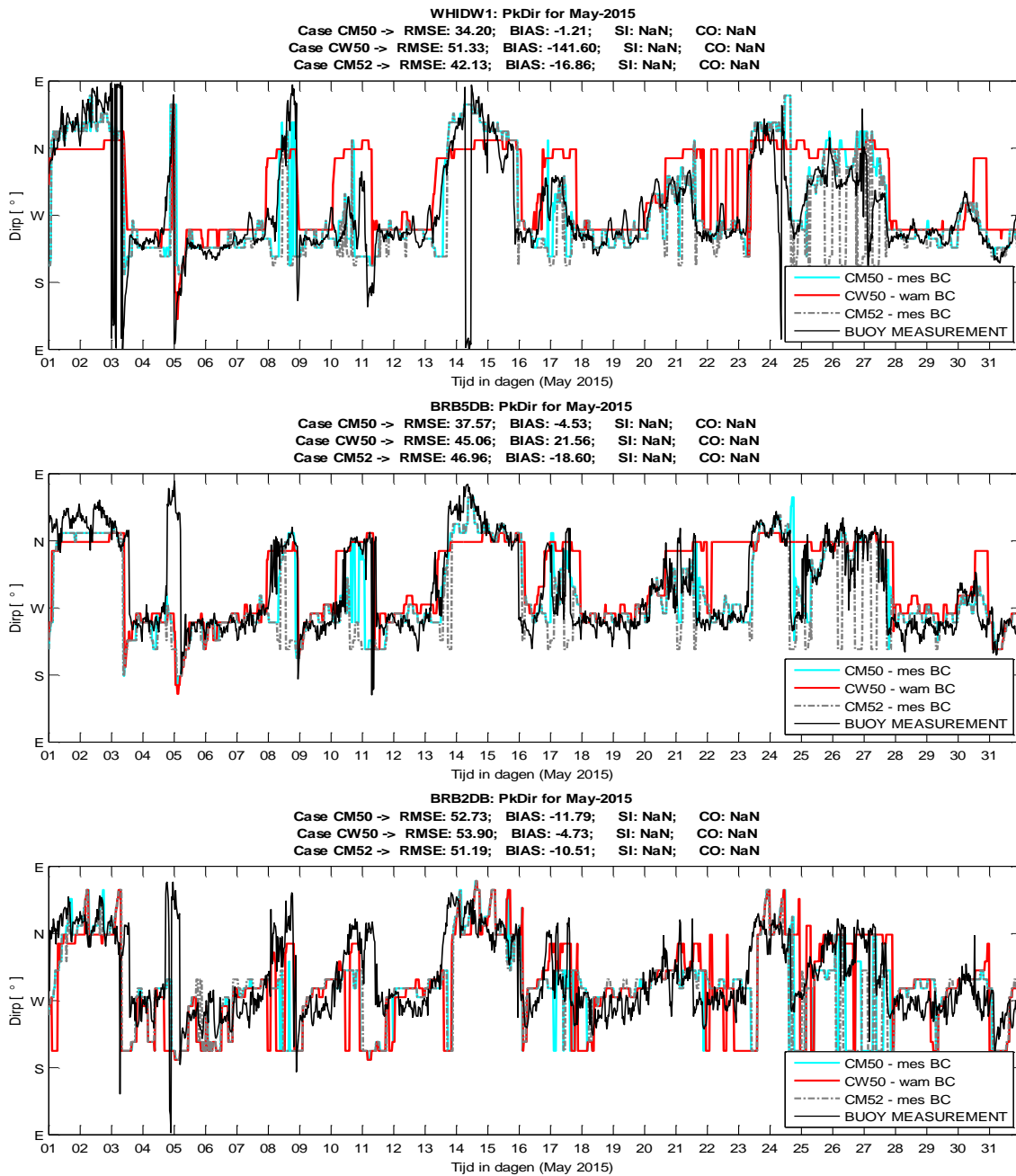


Figuur 3.7. (ook figuren op vorige pagina) Modelresultaat Hm0 simulatie mei 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB2DB, BRB1GB en TRGGB1.





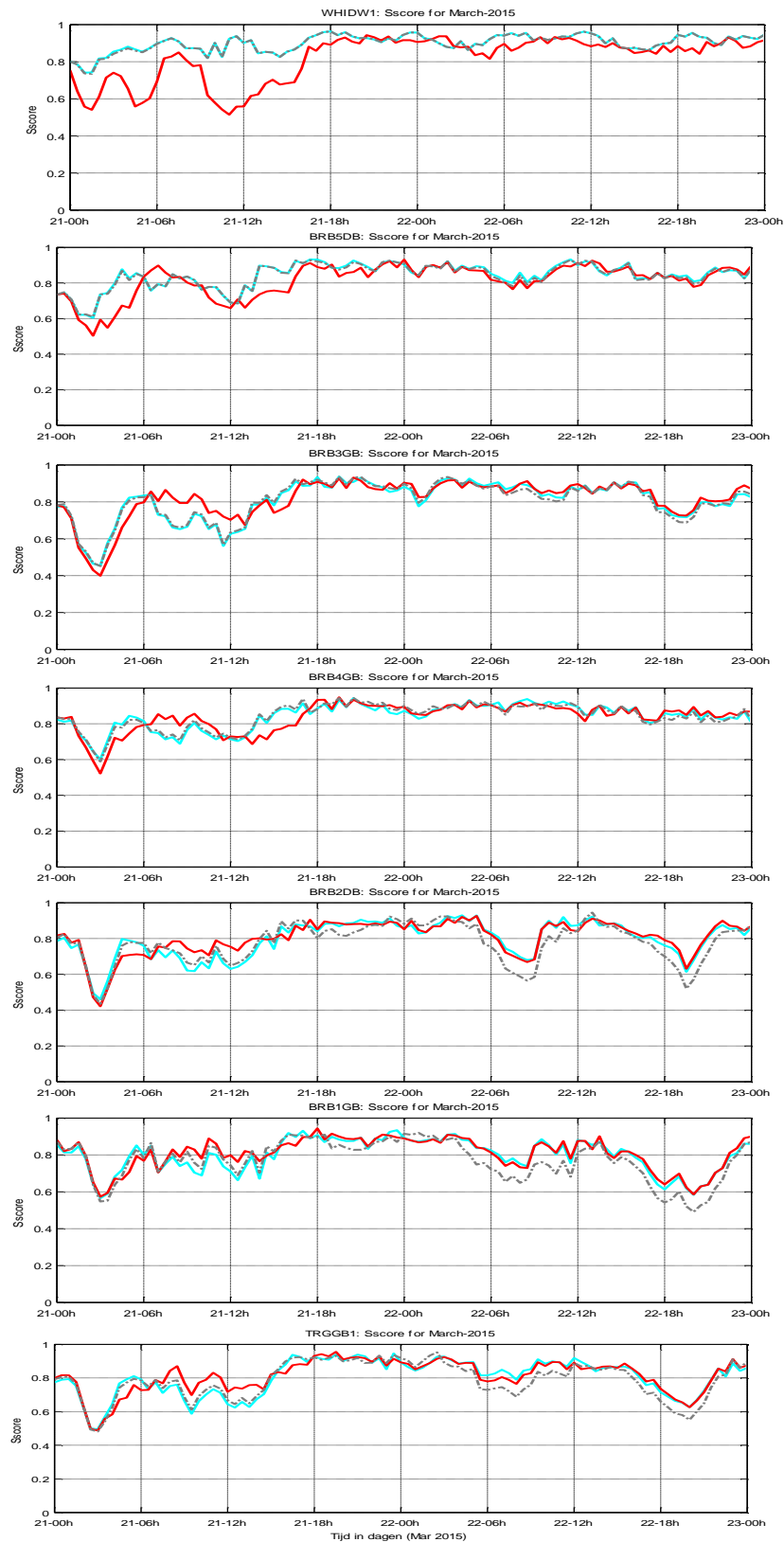
Figuur 3.8. (ook figuren op vorige pagina) Modelresultaat Tm02 simulatie mei 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB, BRB3GB, BRB4GB, BRB2DB, BRB1GB en TRGB1.



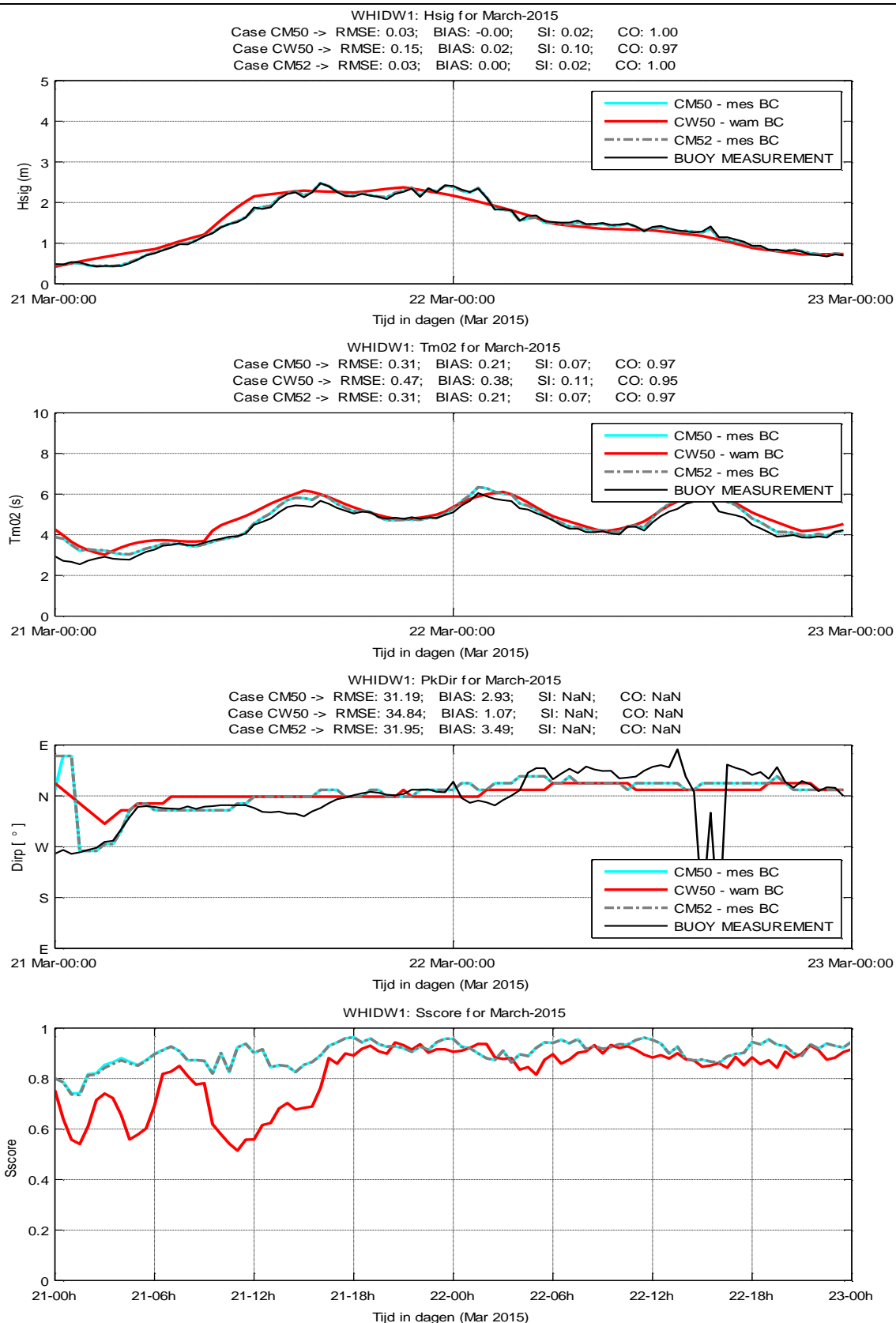
Figuur 3.9. Modelresultaat piekgolfrichting simulatie mei 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locaties WHIDW1, BRB5DB en BRB2DB.

ANNEX 4. S-SCORE EN STORM ANALYSE

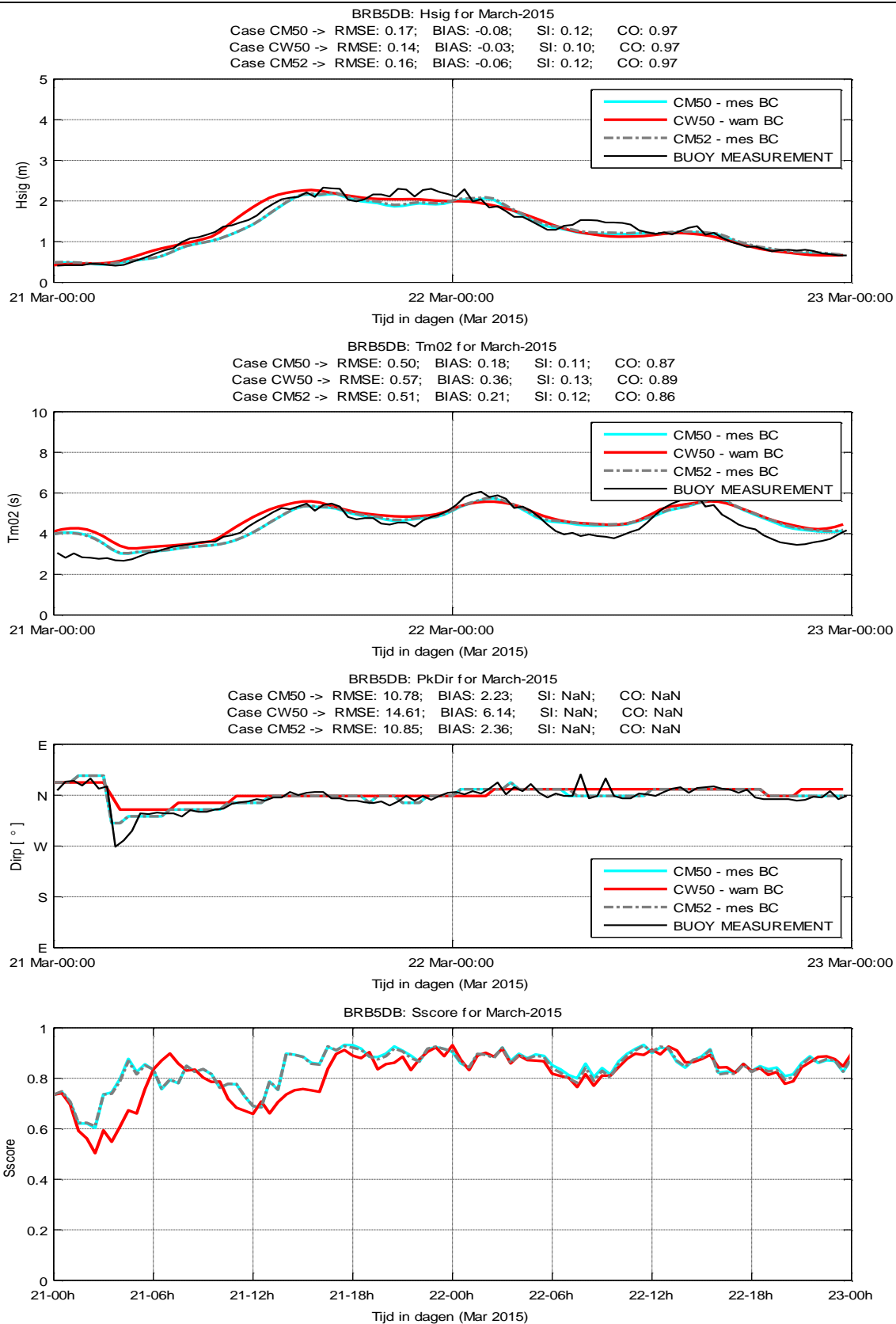
Storm 21-23 maart2015.



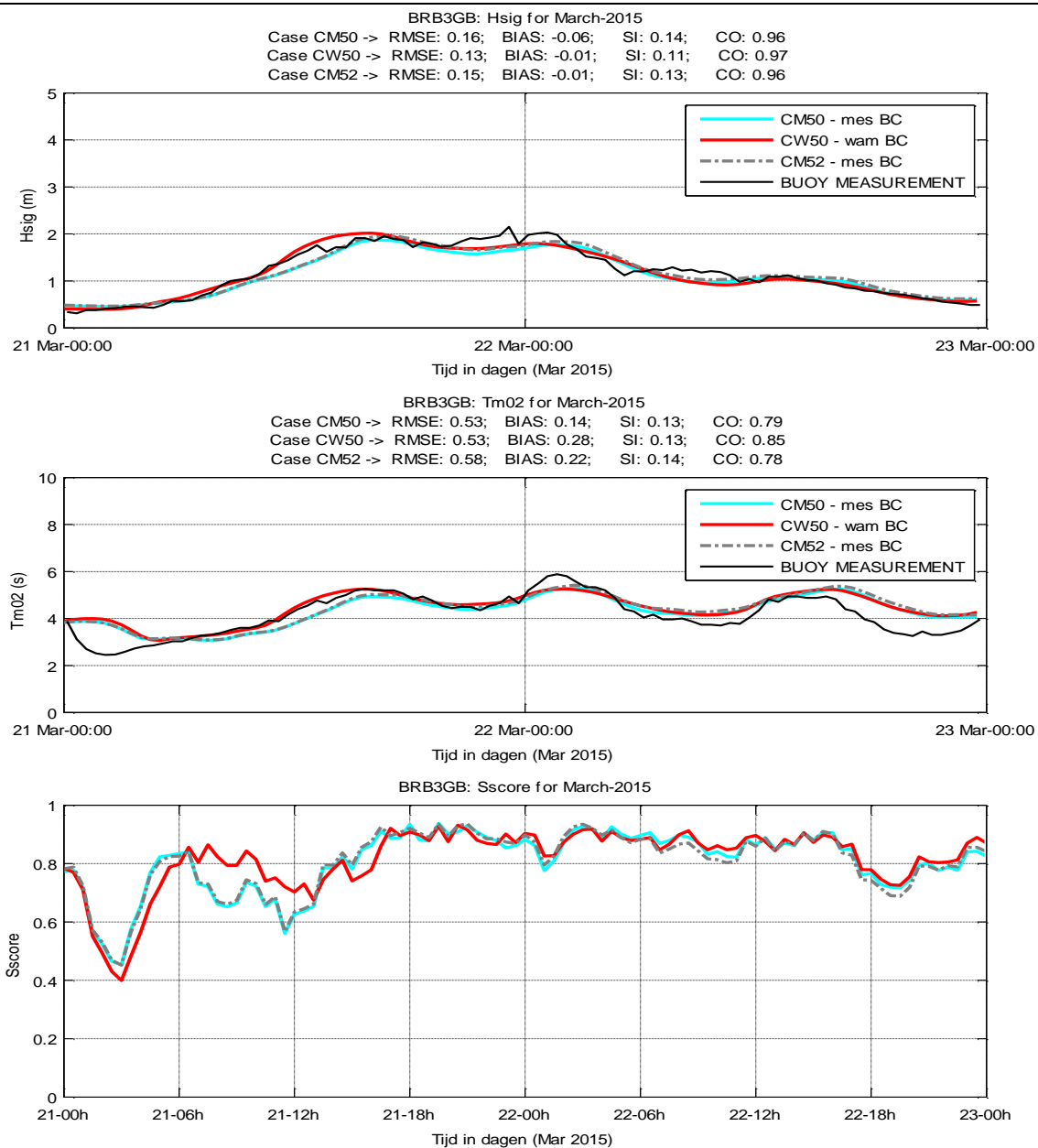
Figuur 4.1. Tijdreeksen S-score voor de 7 locaties voor de storm van 21-23 maart.



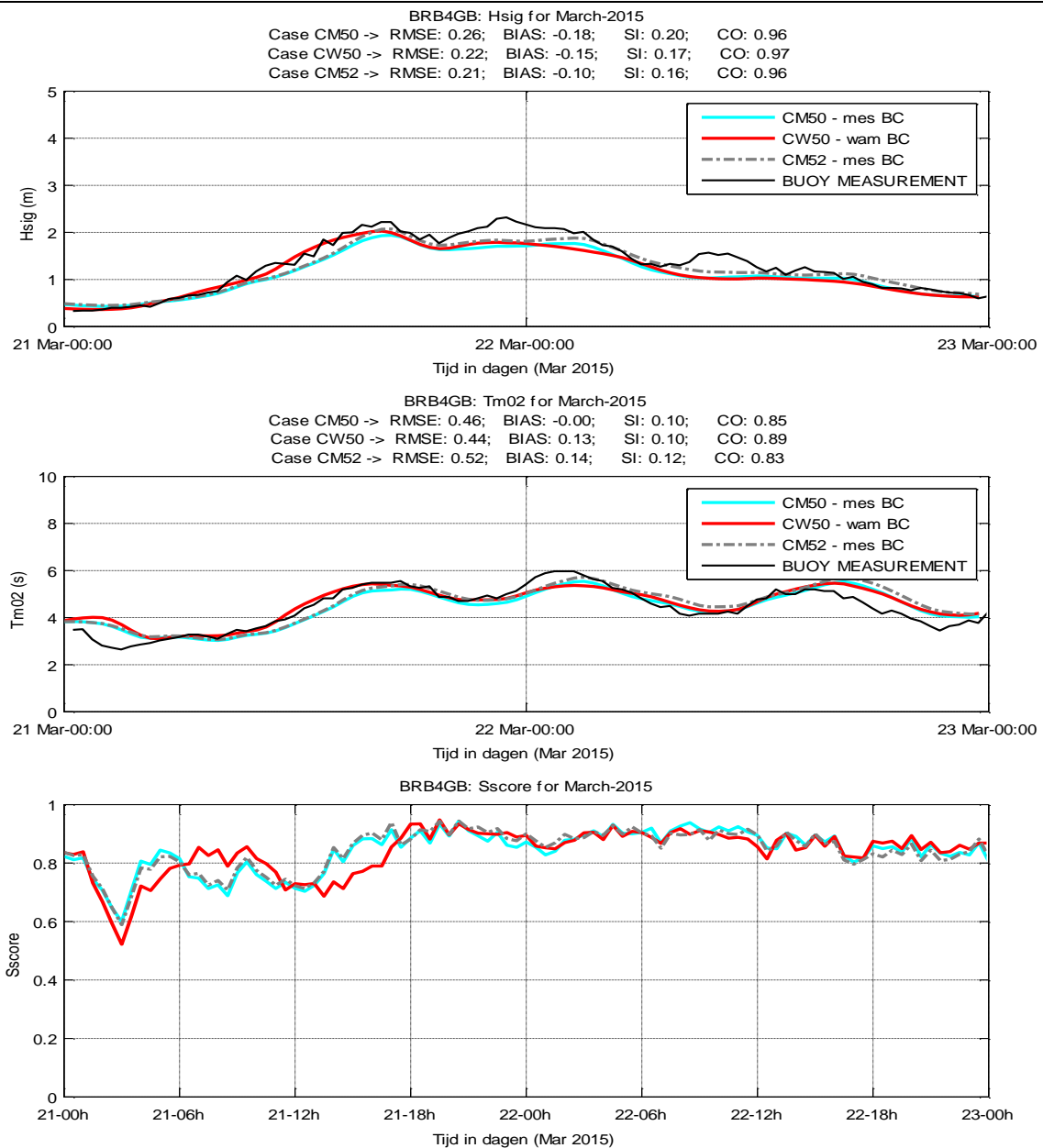
Figuur 4.2. Modelresultaat Hmo, Tm02, piekgolfrichting en S-score voor storm 21-23 maart 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie WHIDW1.



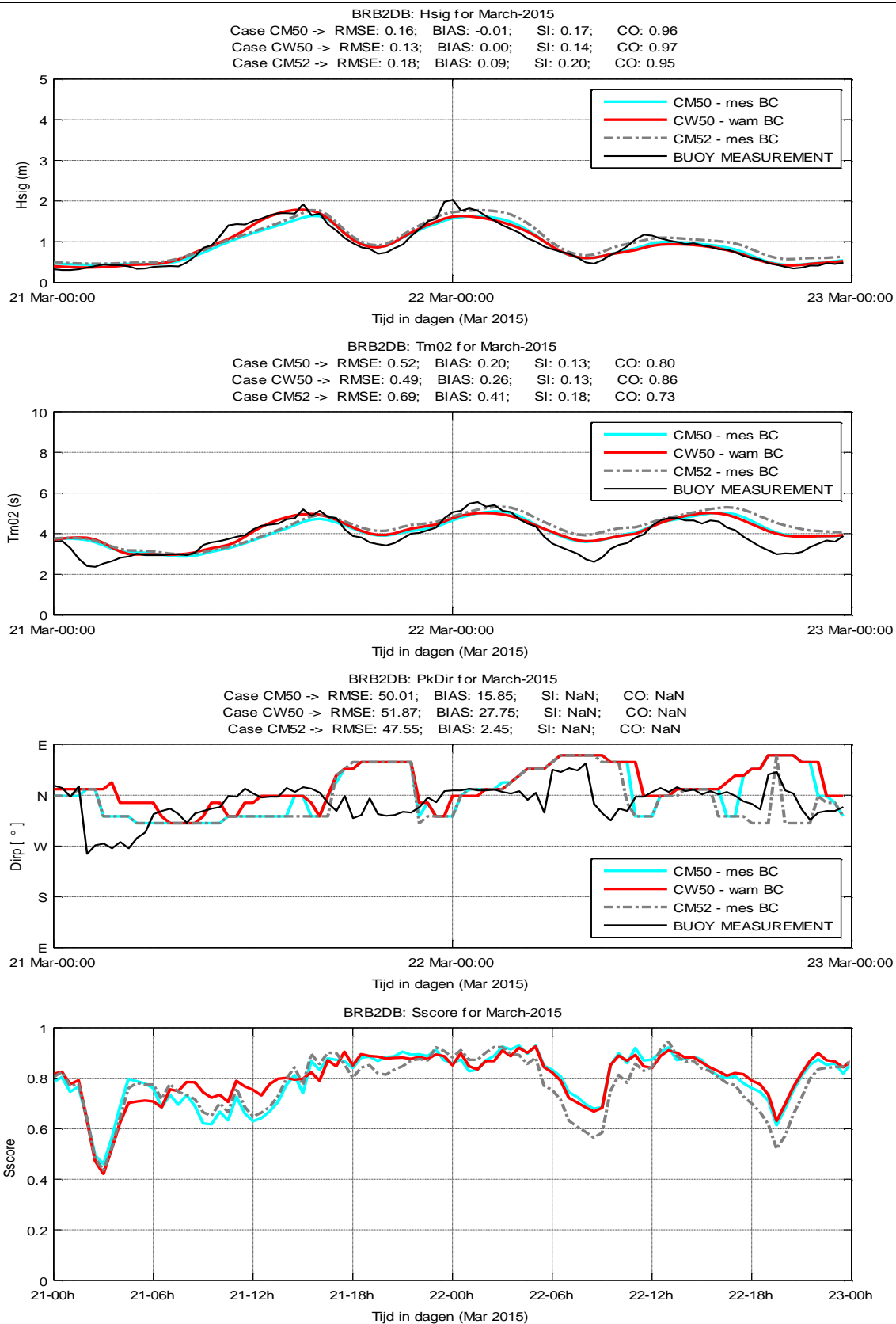
Figuur 4.3. Modelresultaat Hmo, Tm02, piekgolfrichting en S-score voor storm 21-23 maart 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB5DB.



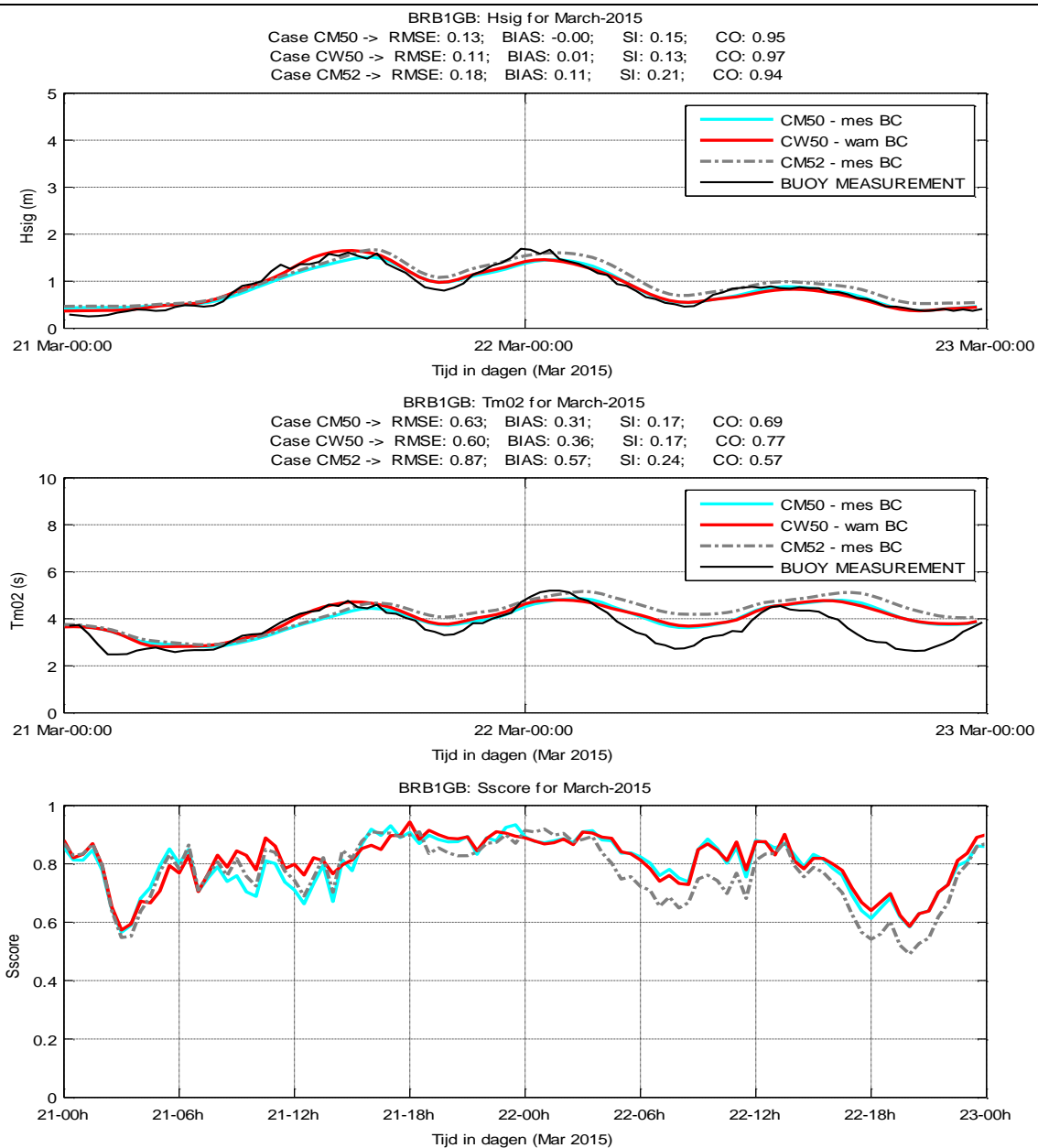
Figuur 4.4. Modelresultaat Hmo, Tm02 en S-score voor storm 21-23 maart 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB3GB.



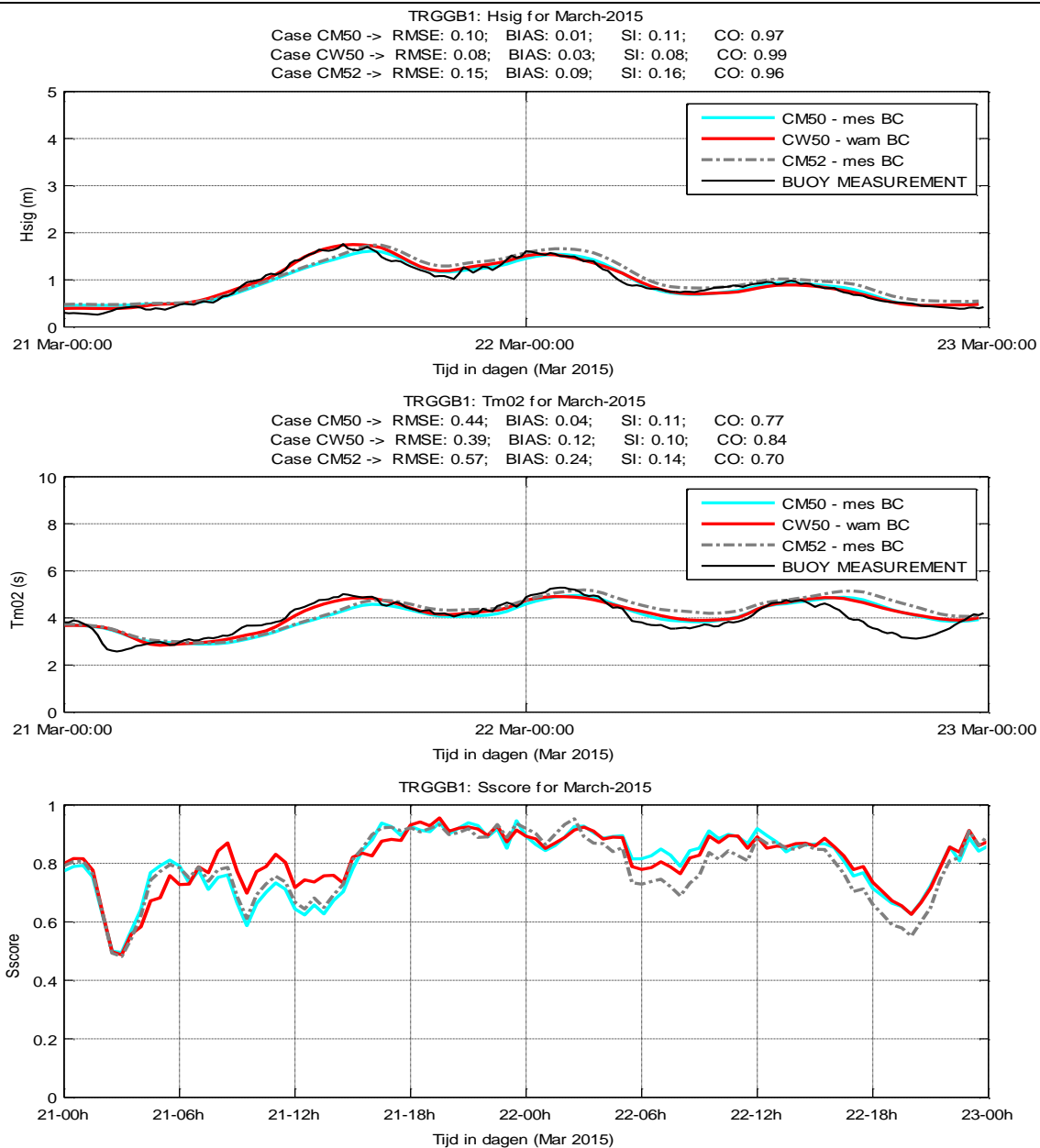
Figuur 4.5. Modelresultaat Hmo, Tm02 en S-score voor storm 21-23 maart 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB4GB.



Figuur 4.6. Modelresultaat Hmo, Tm02, piekgolfrichting en S-score voor storm 21-23 maart 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB2DB.

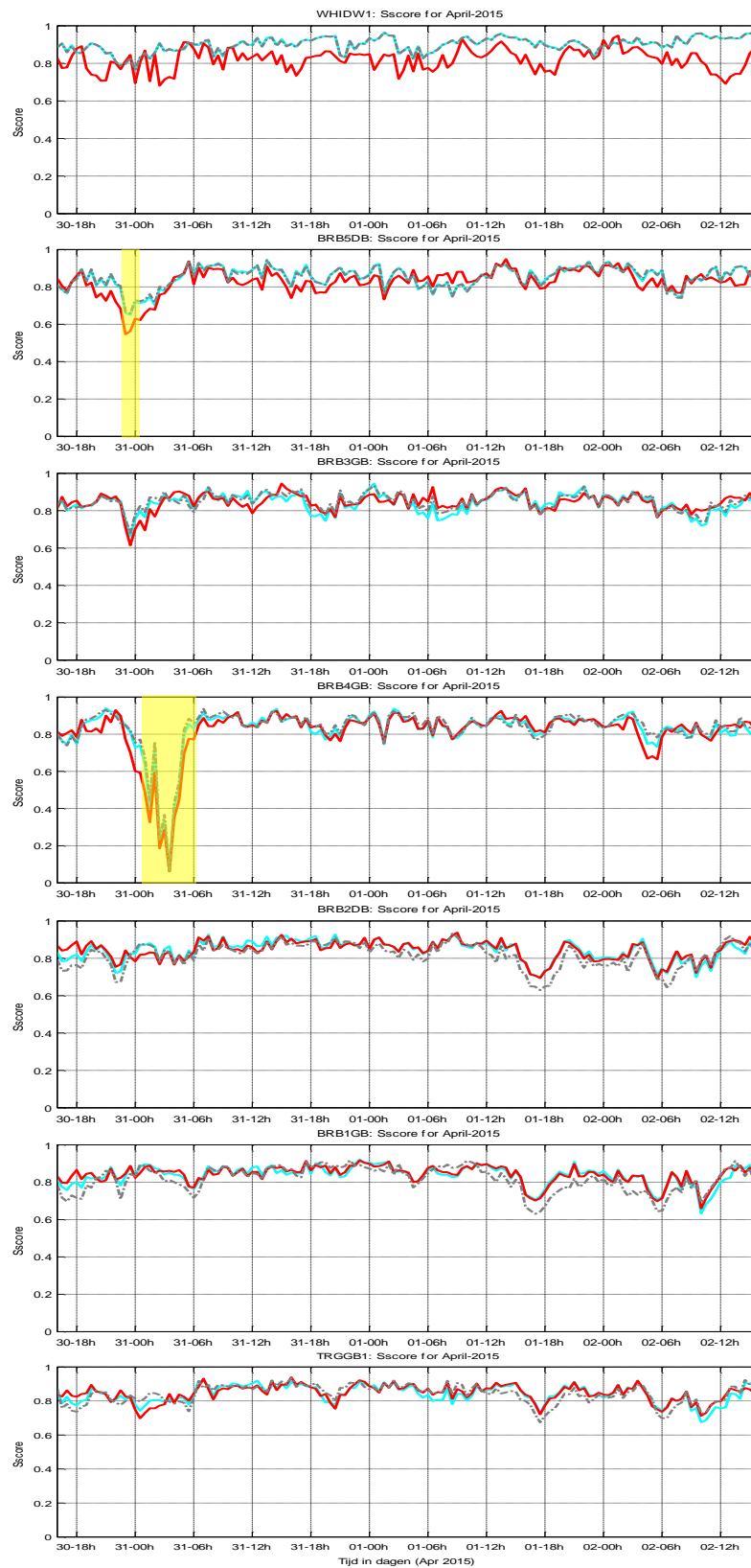


Figuur 4.7. Modelresultaat Hmo, Tm02 en S-score voor storm 21-23 maart 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB1GB.

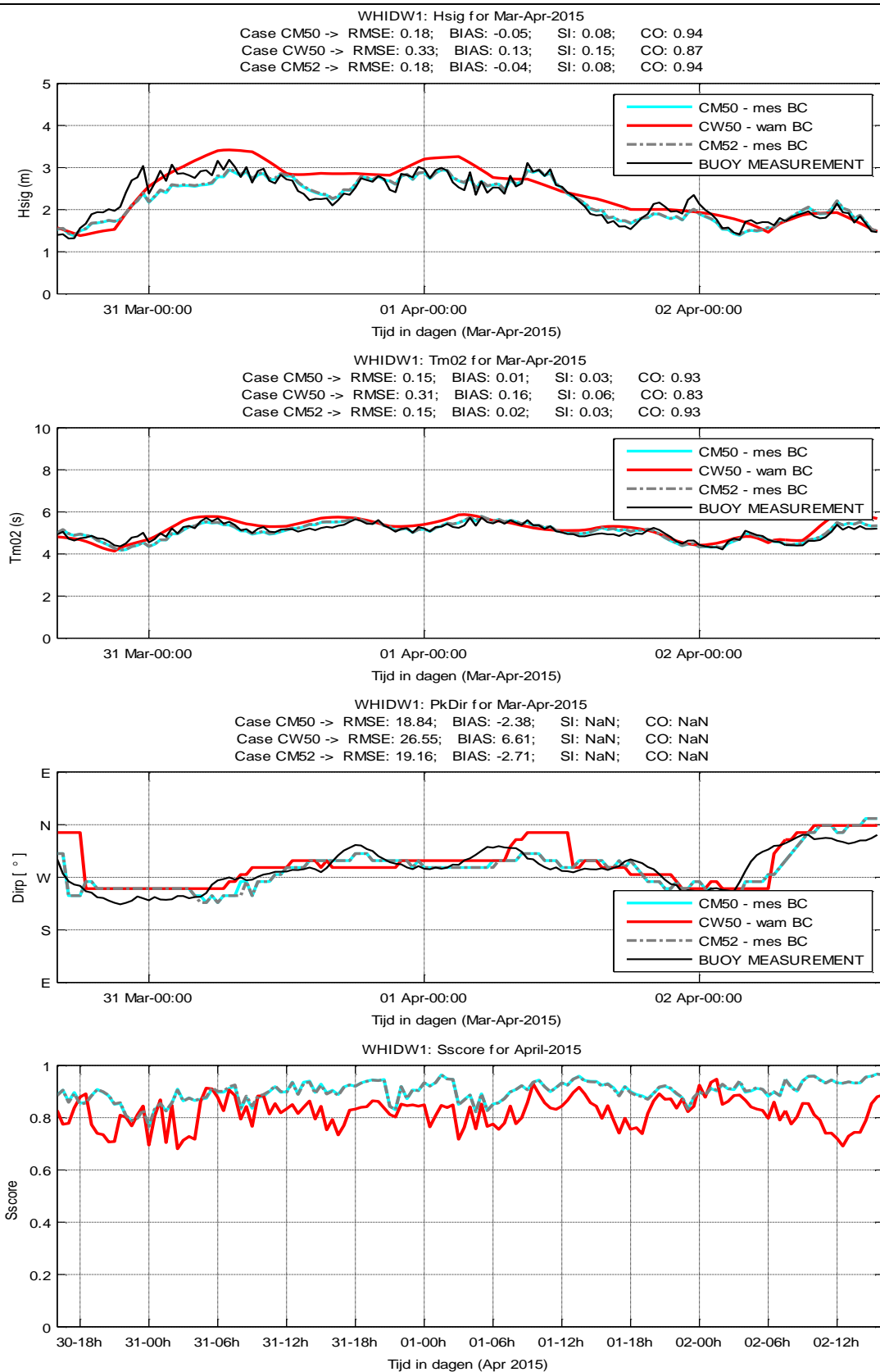


Figuur 4.8. Modelresultaat Hmo, Tm02 en S-score voor storm 21-23 maart 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie TRGGB1.

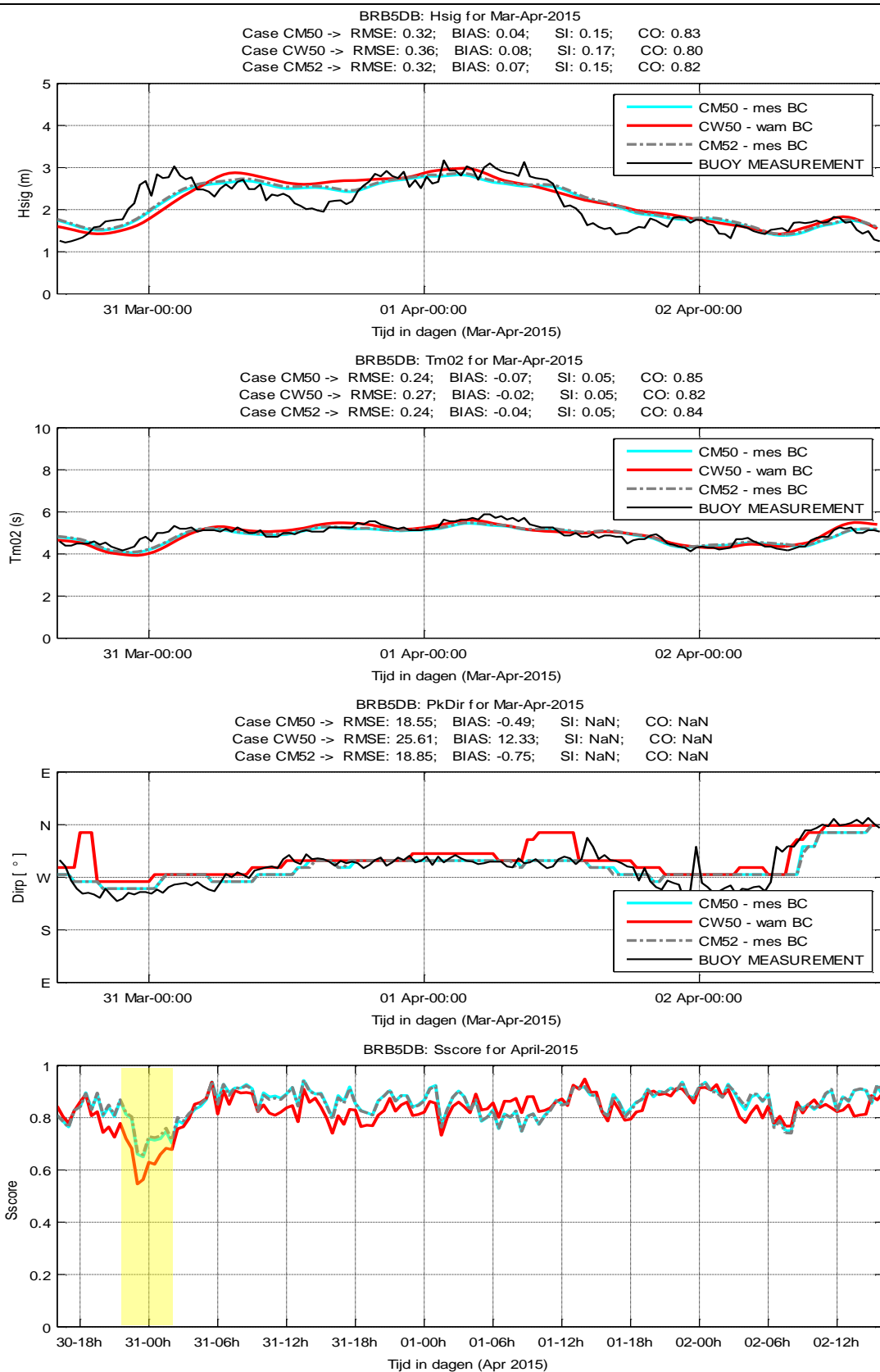
Storm 31 Maart-02 april 2015.



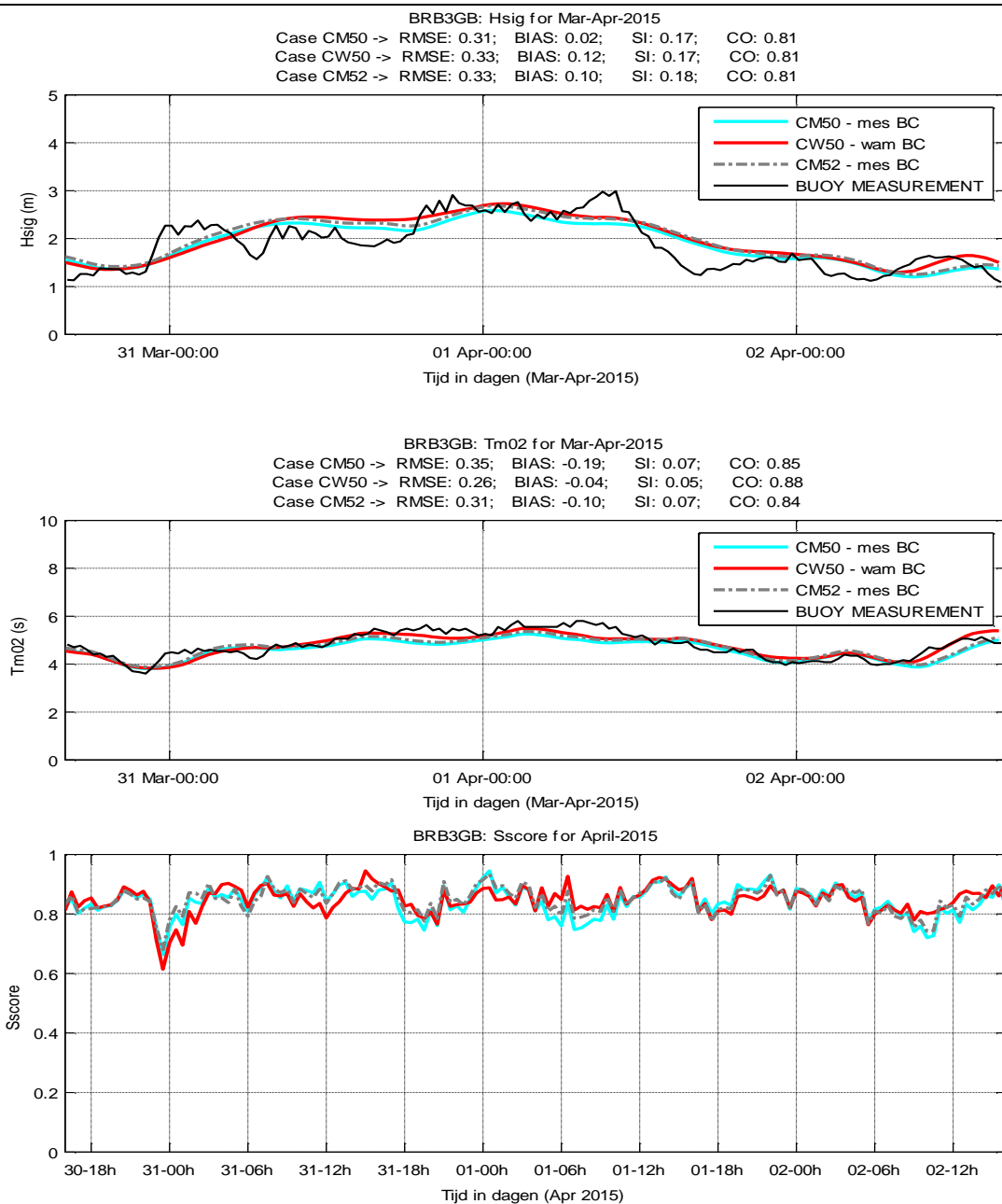
Figuur 4.9. Tijdreeksen S-score voor de 7 locaties voor de storm van 31 maart-02 april 2015.



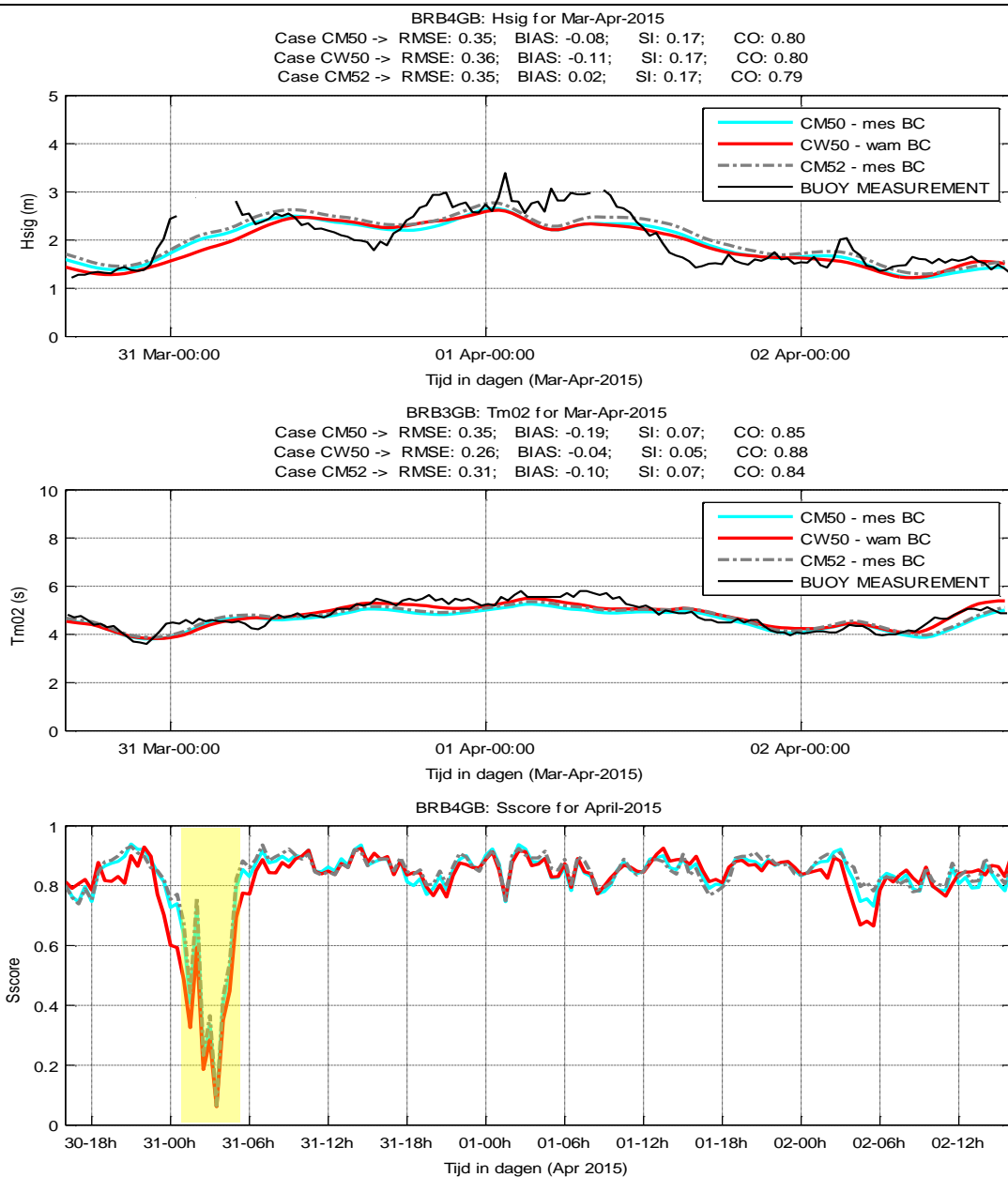
Figuur 4.10. Modelresultaat Hmo, Tm02, piekgolfrichting en S-score voor storm 31 maart-02 april 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie WHIDW1.



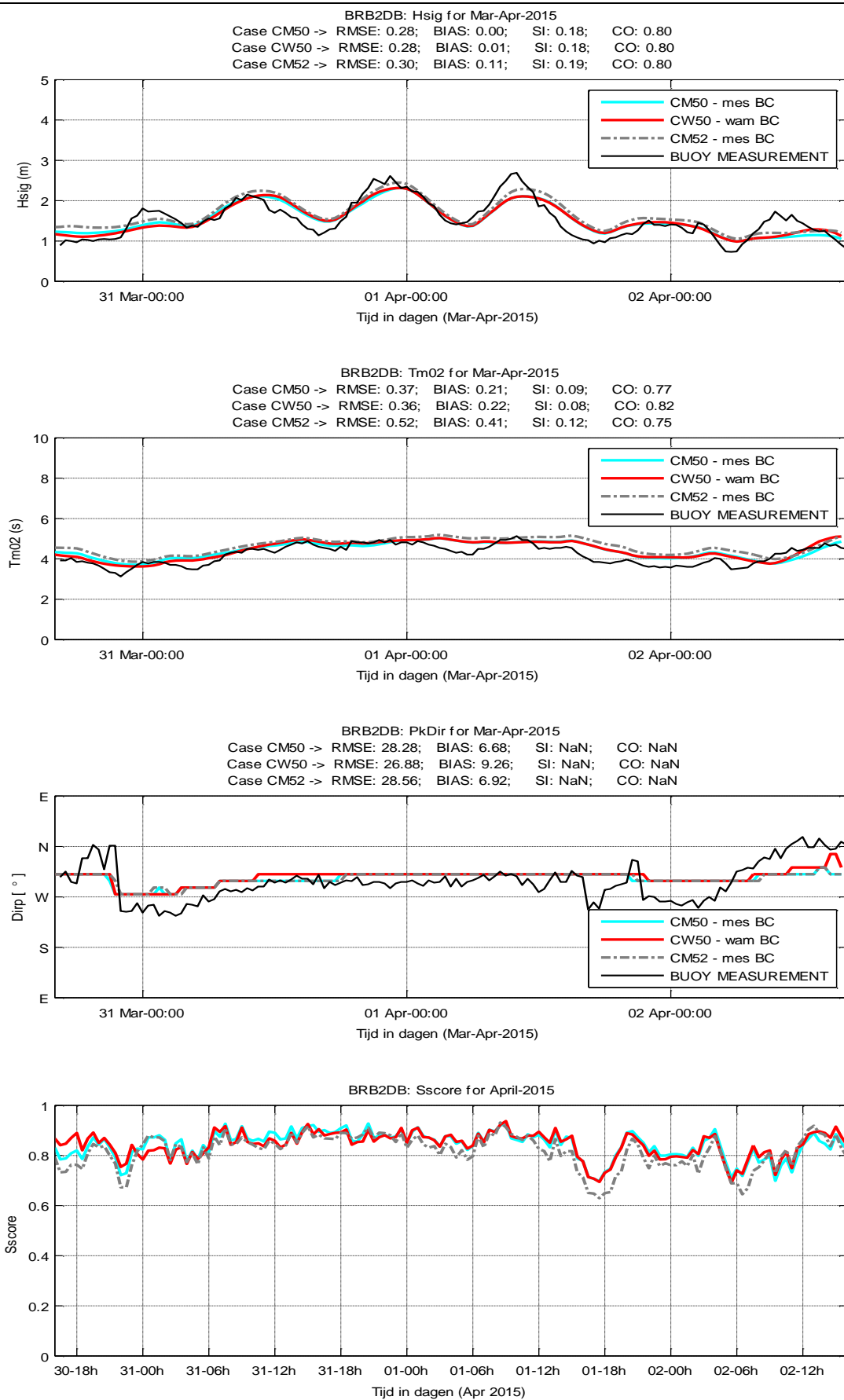
Figuur 4.11. Modelresultaat Hmo, Tm02, piekgolfrichting en S score voor storm 31 maart-02 april 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB5DB.



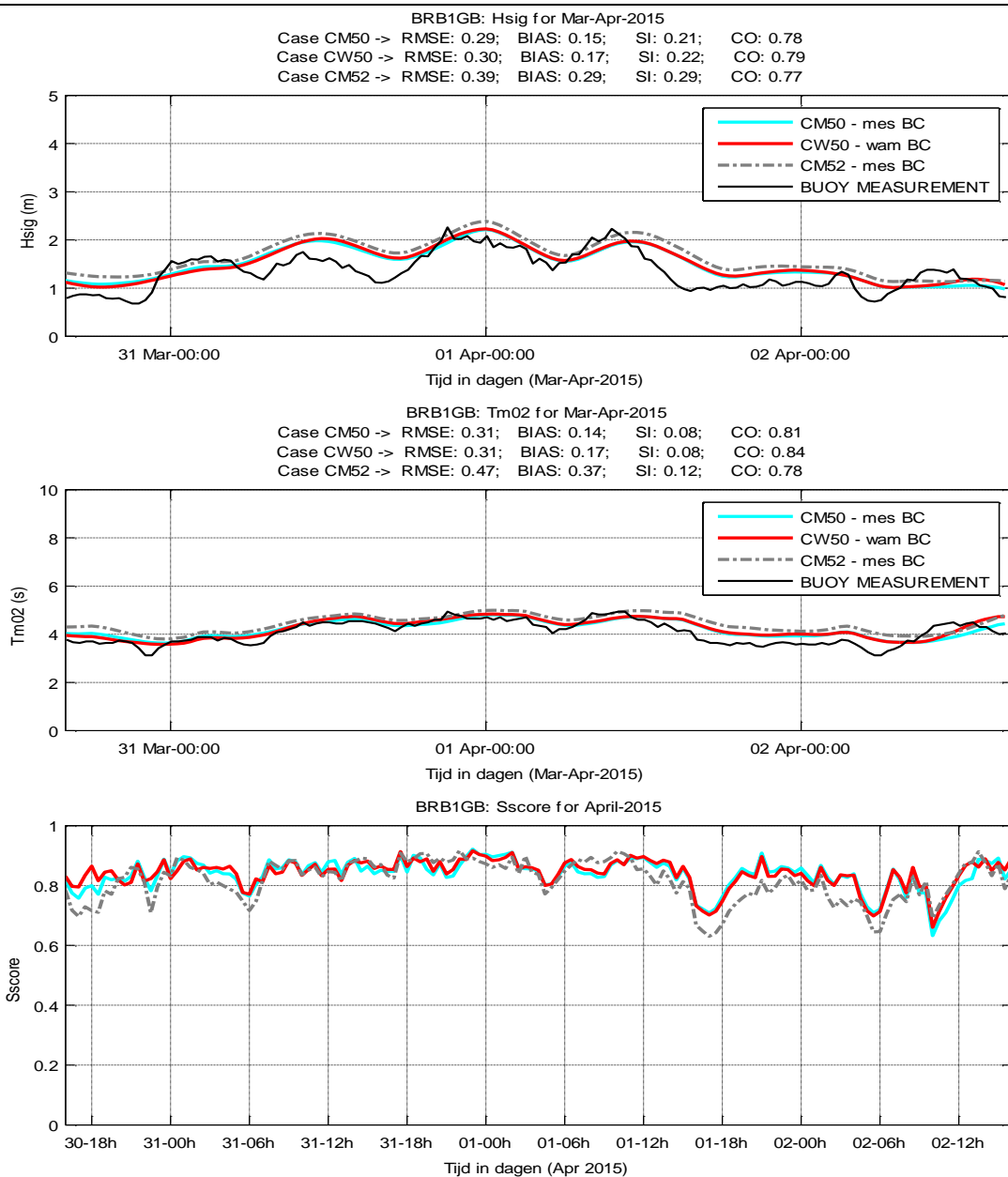
Figuur 4.12. Modelresultaat Hmo, Tm02 en S-score voor storm 31 maart-02 april 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB3GB.



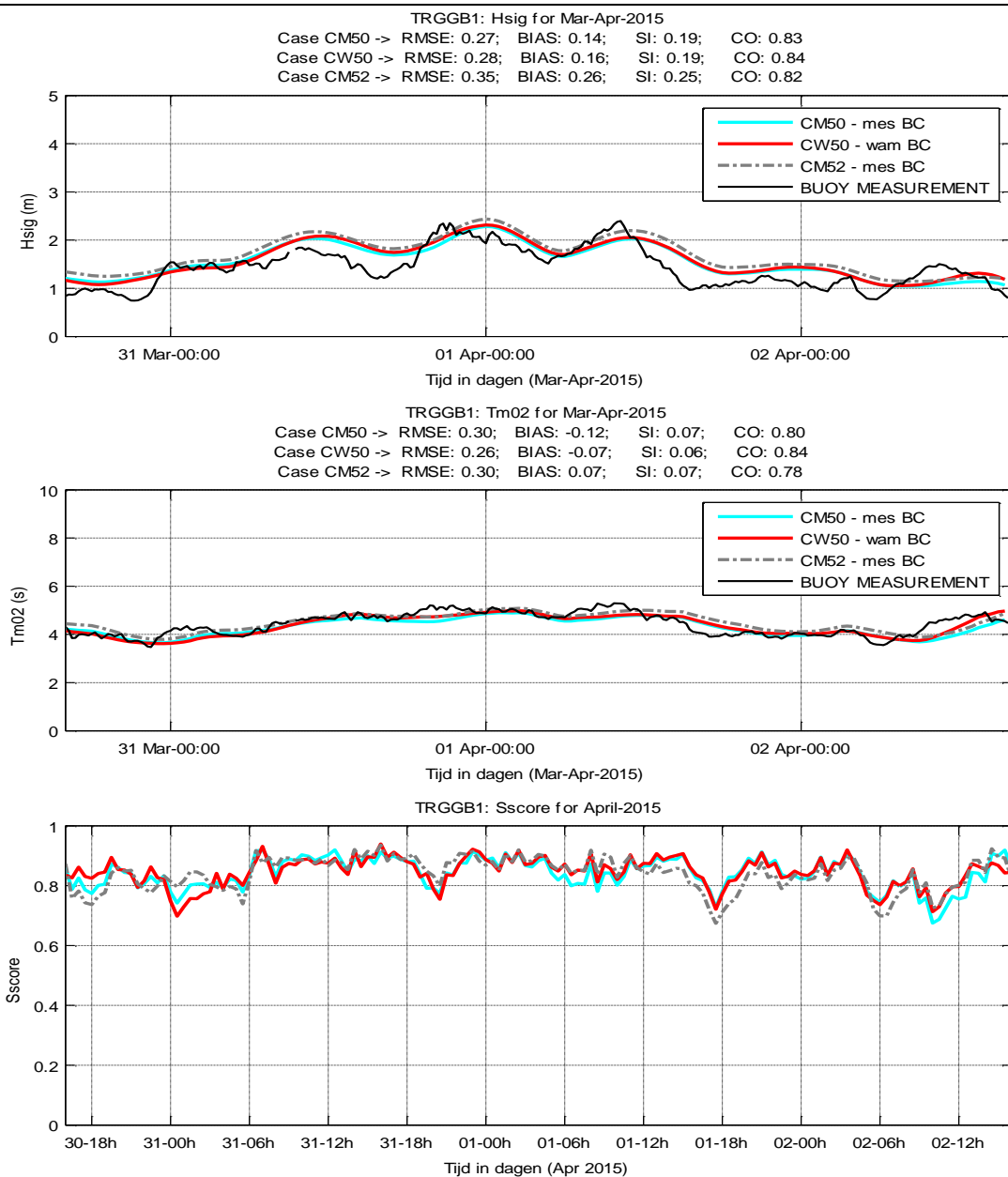
Figuur 4.13. Modelresultaat Hmo, Tm02 en S-score voor storm 31 maart-02 april 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB4GB.



Figuur 4.14. Modelresultaat Hmo, Tm02, piekgolfrichting en S-score voor storm 31 maart-02 april 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB2DB.

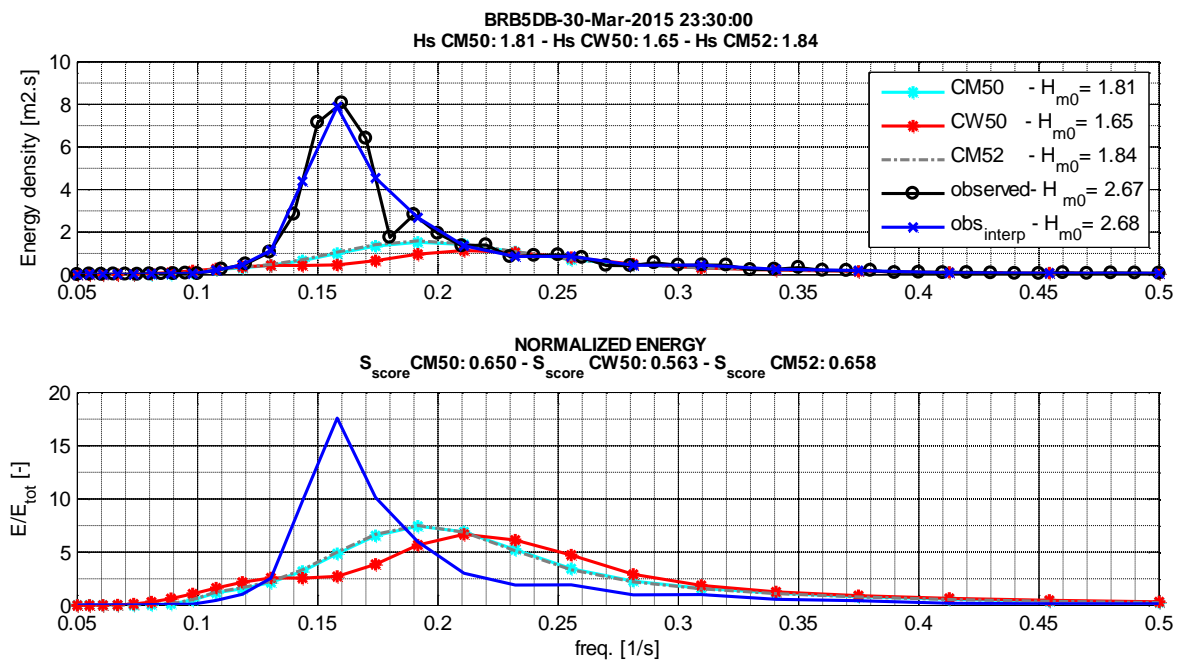


Figuur 4.15. Modelresultaat Hmo, Tm02 en S-score voor storm 31 maart-02 april 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie BRB1GB.



Figuur 4.16. Modelresultaat Hmo, Tm02 en S-score voor storm 31 maart-02 april 2015 voor model settings CM50, CW50 en CM52 voor de boeien op locatie TRGGB1.

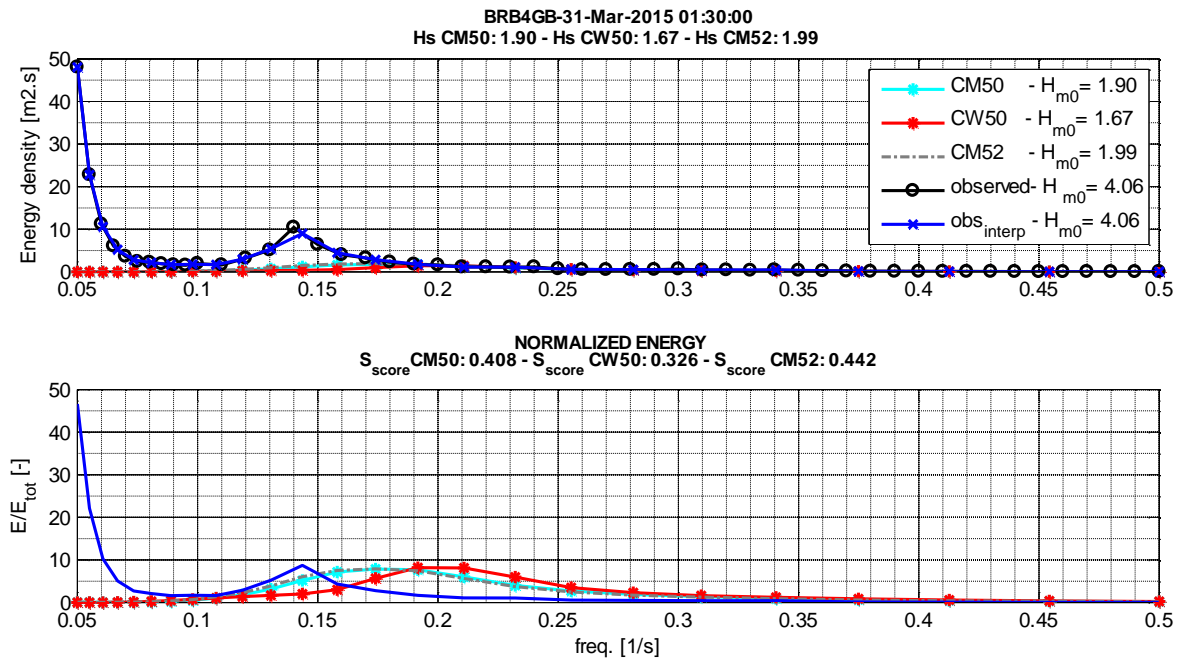
Uit de analyse voor deze tweede storm (31 maart – 2 april 2015), blijkt opnieuw dat de S-score tijdsreeks het verschil tussen de gesimuleerde en geobserveerde golfenergieverdeling (zie Figuur 4.17 voor de slechte S-scores ter hoogte van BRB5DB) goed weergeeft.



Figuur 4.17. Verdeling energiedensiteit voor de metingen en voor de 3 model settings op locatie BRB5DB op 30/03/2015-23:30. Bovenste figuur: niet genormaliseerd; de blauwe lijn is de gemeten golfenergie-densiteit geïnterpoleerd op het model frequentiegrid (stap b in de methodologie). Onderste figuur: genormaliseerde energie met aanduiding van de S-score voor elk van de model settings.

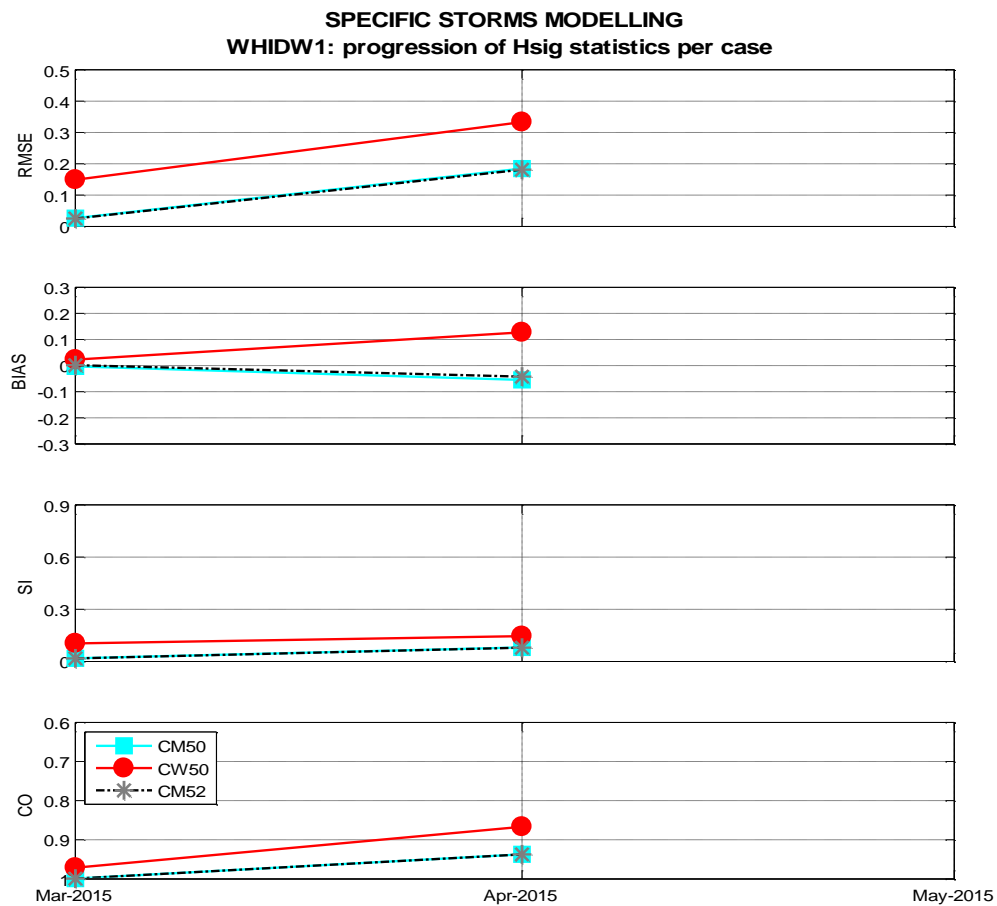
Bijkomend kwam bij deze specifieke storm een ander kenmerk van de S-score aan het licht. De S-score kan namelijk ook helpen om na te gaan wanneer het model of de boeien verkeerde energiepatronen vertonen. In dit geval vertoont BRB4GB een abnormale en geïsoleerde slechte S-score, die overeenkomt met de outliers die van tijd tot tijd bij deze boei voorkomen.

Wanneer gekeken wordt naar de specifieke tijdstippen waarop de slechte S-score voorkomt op deze locatie (zie Figuur 4.18), blijkt dat de energieverdeling energie vertoont bij zeer lage frequenties, wat niet realistisch is. Daarom worden deze data niet in rekening gebracht.



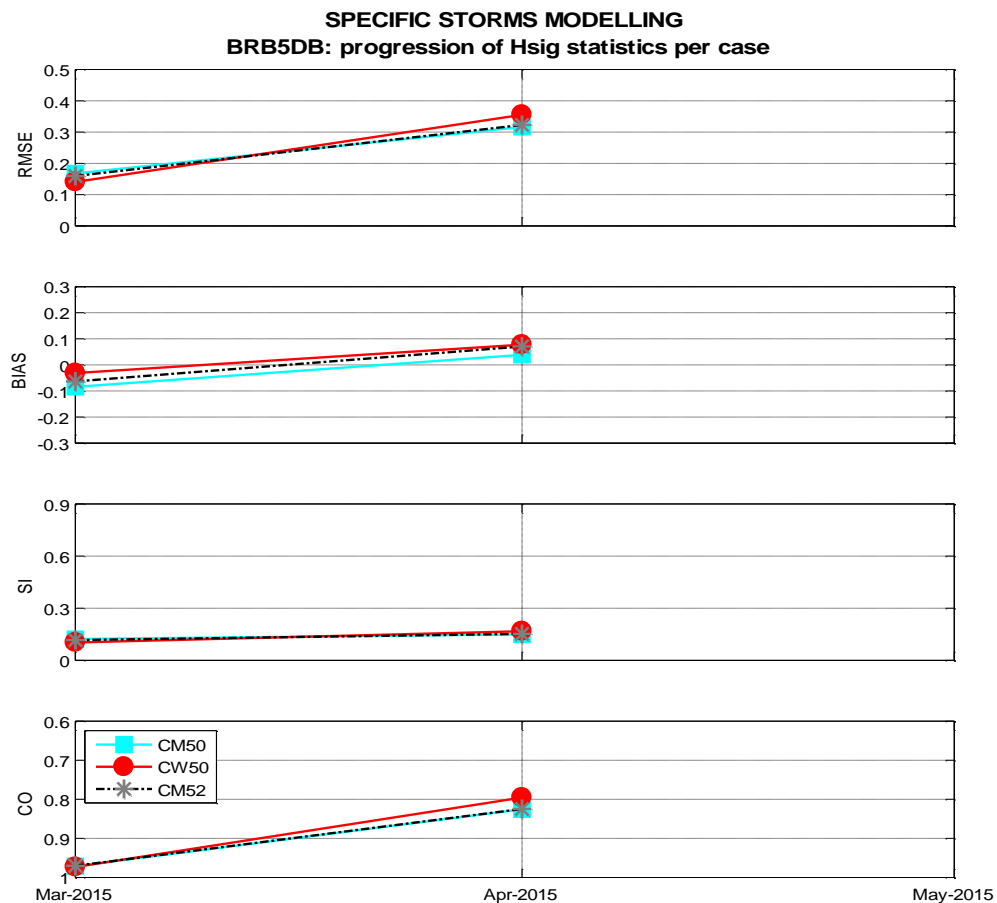
Figuur 4.18. Verdeling energiedensiteit voor de metingen en voor de 3 model settings op locatie BRB4GB op 31/03/2015-01:30. Bovenste figuur: niet genormaliseerd; de blauwe lijn is de gemeten golfenergiedensiteit geïnterpoleerd op het model frequentiegrid (stap b in de methodologie). Onderste figuur: genormaliseerde energie met aanduiding van de S-score voor elk van de model settings.

ANNEX 5. TIJDSLIJN STATISTISCHE PARAMETERS



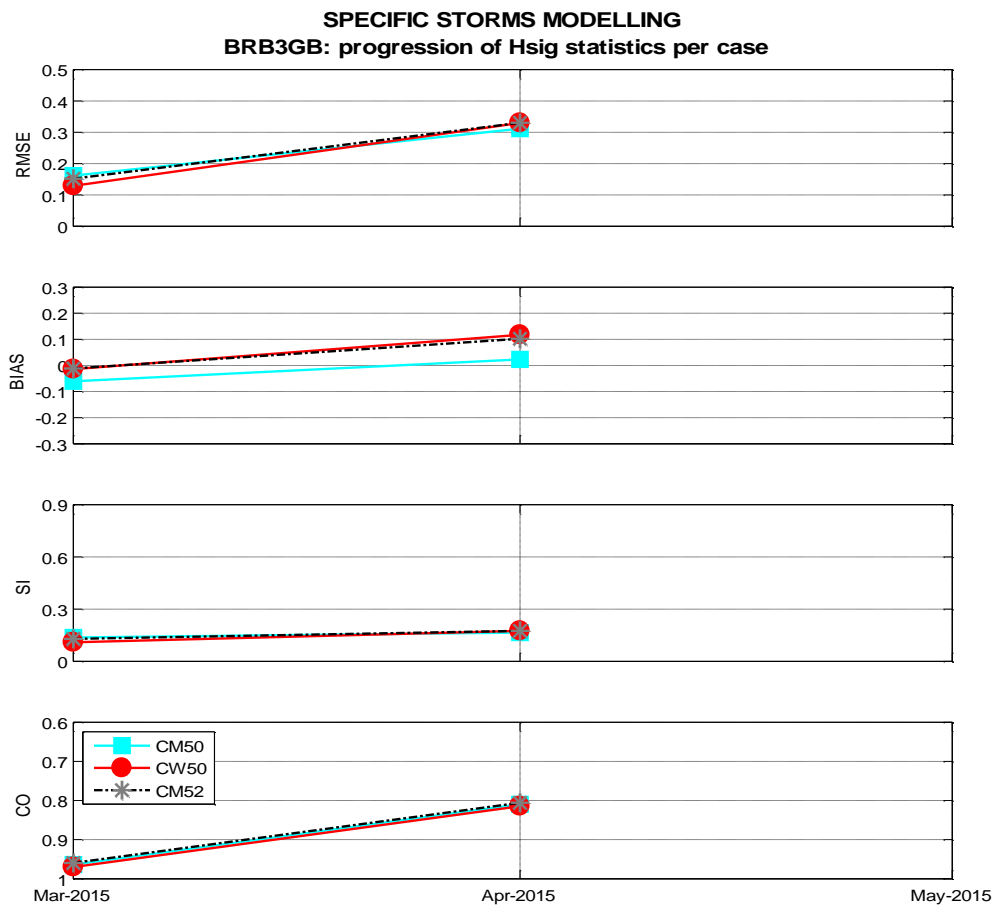
Hm0	WHIDW1	Maart 2015	April 2015	Mei 2015
RMSE	CM50	0.03	0.18	/
	CW50	0.15	0.33	/
	CM52	0.03	0.18	/
BIAS	CM50	0.00	-0.05	/
	CW50	0.02	0.13	/
	CM52	0.00	-0.04	/
SI	CM50	0.02	0.08	/
	CW50	0.10	0.15	/
	CM52	0.02	0.08	/
CO	CM50	1.00	0.94	/
	CW50	0.97	0.87	/
	CM52	1.00	0.94	/

Figuur 5.1. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie WHIDW1 voor de periode maart-mei 2015 bij stormcondities.



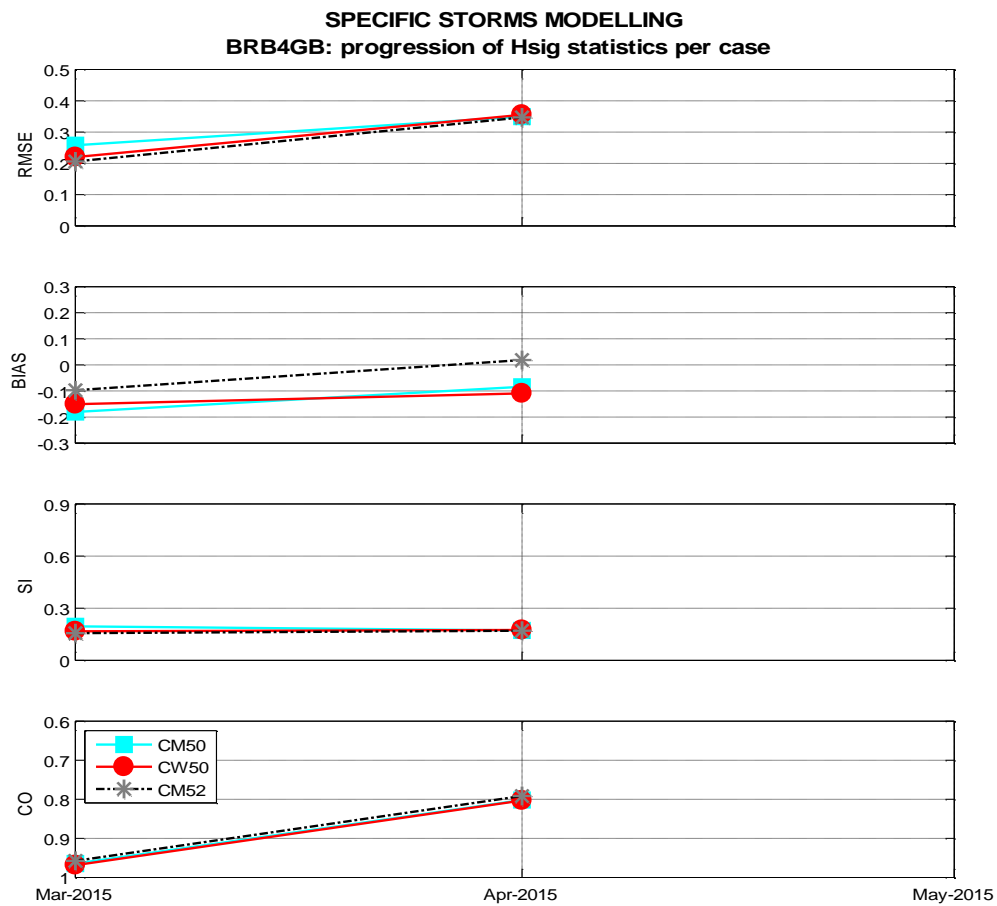
Hm0		BRB5DB	Maart 2015	April 2015	Mei 2015
RMSE	CM50		0.17	0.32	/
	CW50		0.14	0.36	/
	CM52		0.16	0.32	/
BIAS	CM50		-0.08	0.04	/
	CW50		-0.03	0.08	/
	CM52		-0.06	0.07	/
SI	CM50		0.12	0.15	/
	CW50		0.10	0.17	/
	CM52		0.12	0.15	/
CO	CM50		0.97	0.83	/
	CW50		0.97	0.80	/
	CM52		0.97	0.82	/

Figuur 5.2. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB5DB voor de periode maart-mei 2015 bij stormcondities.



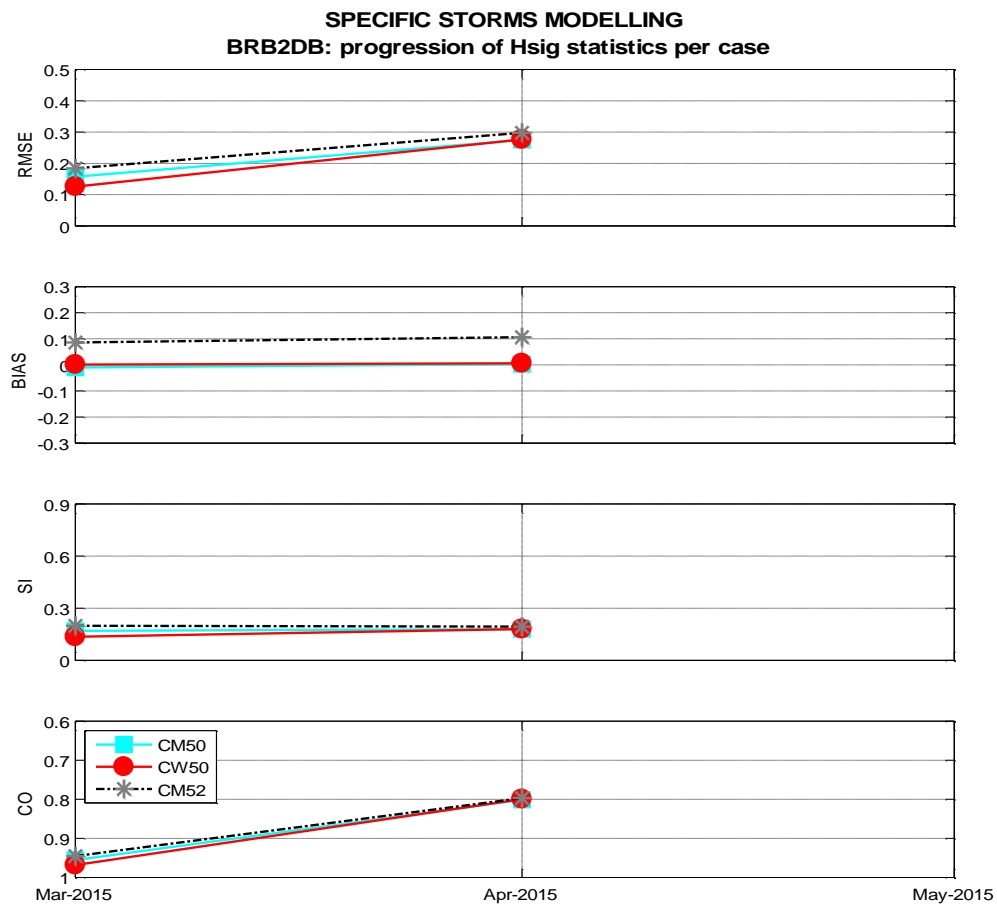
Hm0		BRB3GB	Maart 2015	April 2015	Mei 2015
RMSE	CM50		0.16	0.31	/
	CW50		0.13	0.33	/
	CM52		0.15	0.33	/
BIAS	CM50		-0.06	0.02	/
	CW50		-0.01	0.12	/
	CM52		-0.01	0.10	/
SI	CM50		0.14	0.17	/
	CW50		0.11	0.17	/
	CM52		0.13	0.18	/
CO	CM50		0.96	0.81	/
	CW50		0.97	0.81	/
	CM52		0.96	0.81	/

Figuur 5.3. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB3GB voor de periode maart-mei 2015 bij stormcondities.



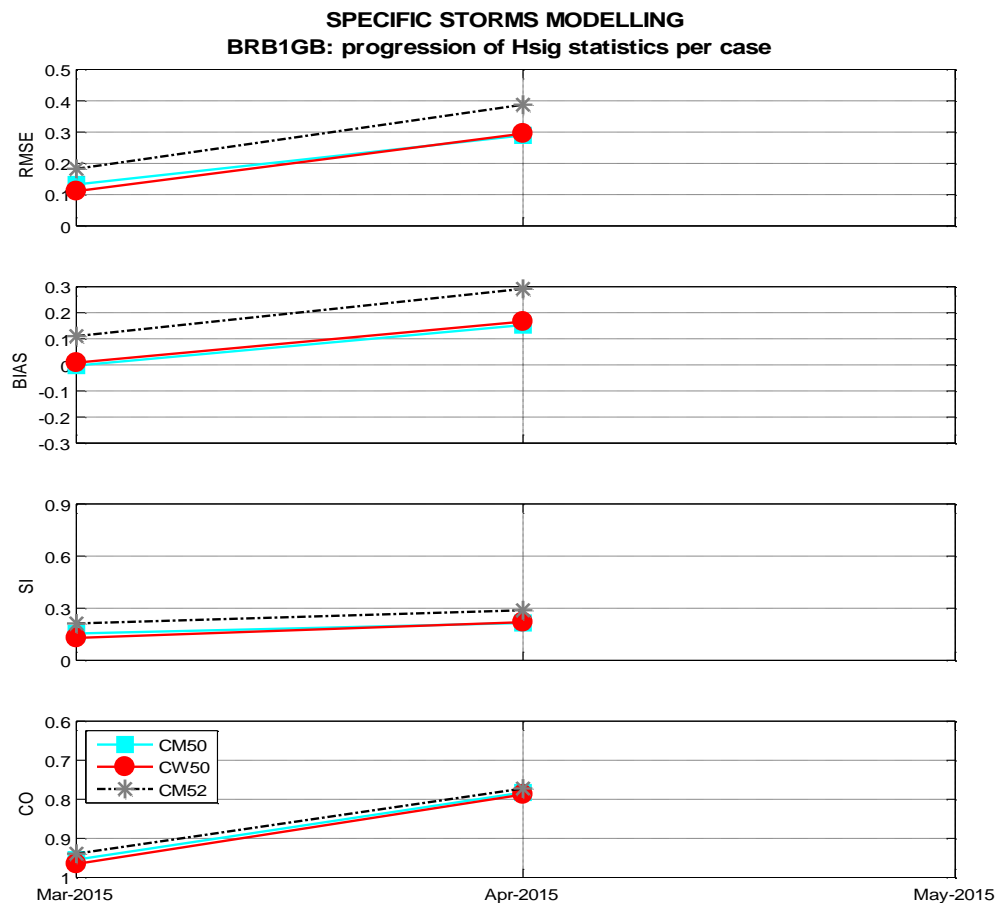
Hm0		BRB4GB	Maart 2015	April 2015	Mei 2015
RMSE	CM50		0.26	0.35	/
	CW50		0.22	0.36	/
	CM52		0.21	0.35	/
BIAS	CM50		-0.18	-0.08	/
	CW50		-0.15	-0.11	/
	CM52		-0.10	0.02	/
SI	CM50		0.20	0.17	/
	CW50		0.17	0.17	/
	CM52		0.16	0.17	/
CO	CM50		0.96	0.80	/
	CW50		0.97	0.80	/
	CM52		0.96	0.79	/

Figuur 5.4. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB4GB voor de periode maart-mei 2015 bij stormcondities.



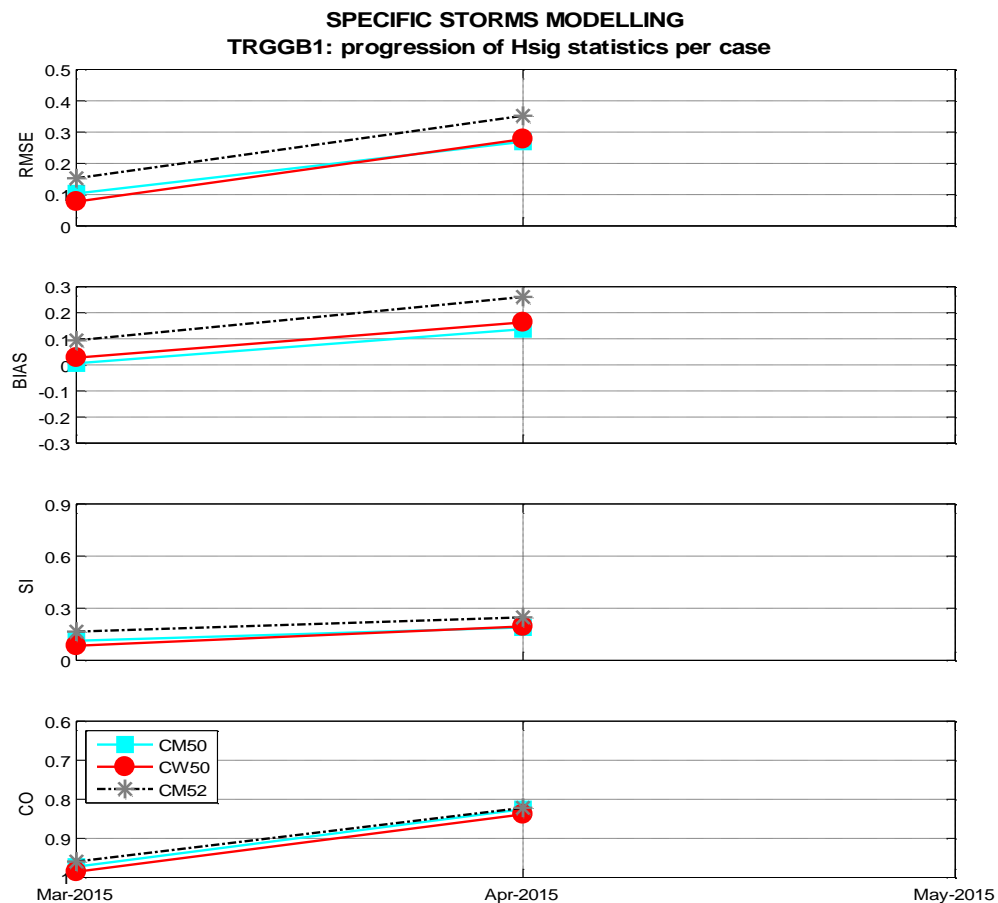
Hm0		BRB2DB	Maart 2015	April 2015	Mei 2015
RMSE	CM50		0.16	0.28	/
	CW50		0.13	0.28	/
	CM52		0.18	0.30	/
BIAS	CM50		-0.01	0.00	/
	CW50		0.00	0.01	/
	CM52		0.09	0.11	/
SI	CM50		0.17	0.18	/
	CW50		0.14	0.18	/
	CM52		0.20	0.19	/
CO	CM50		0.96	0.80	/
	CW50		0.97	0.80	/
	CM52		0.95	0.80	/

Figuur 5.5. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB2DB voor de periode maart-mei 2015 bij stormcondities.



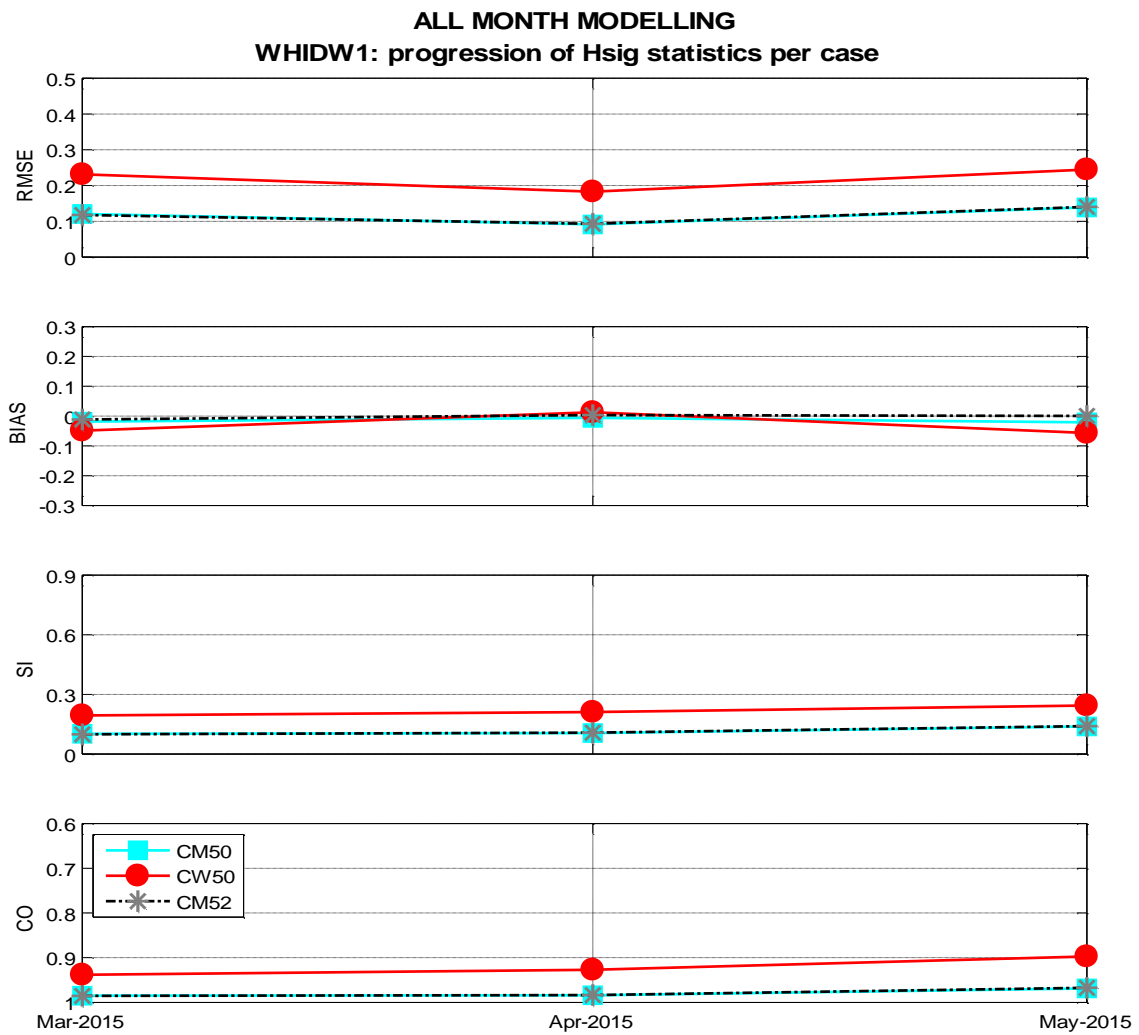
Hm0	BRB1GB	Maart 2015	April 2015	Mei 2015
RMSE	CM50	0.13	0.29	/
	CW50	0.11	0.30	/
	CM52	0.18	0.39	/
BIAS	CM50	0.00	0.15	/
	CW50	0.01	0.17	/
	CM52	0.11	0.29	/
SI	CM50	0.15	0.21	/
	CW50	0.13	0.22	/
	CM52	0.21	0.29	/
CO	CM50	0.95	0.78	/
	CW50	0.97	0.79	/
	CM52	0.94	0.77	/

Figuur 5.6. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB1GB voor de periode maart-mei 2015 bij stormcondities.



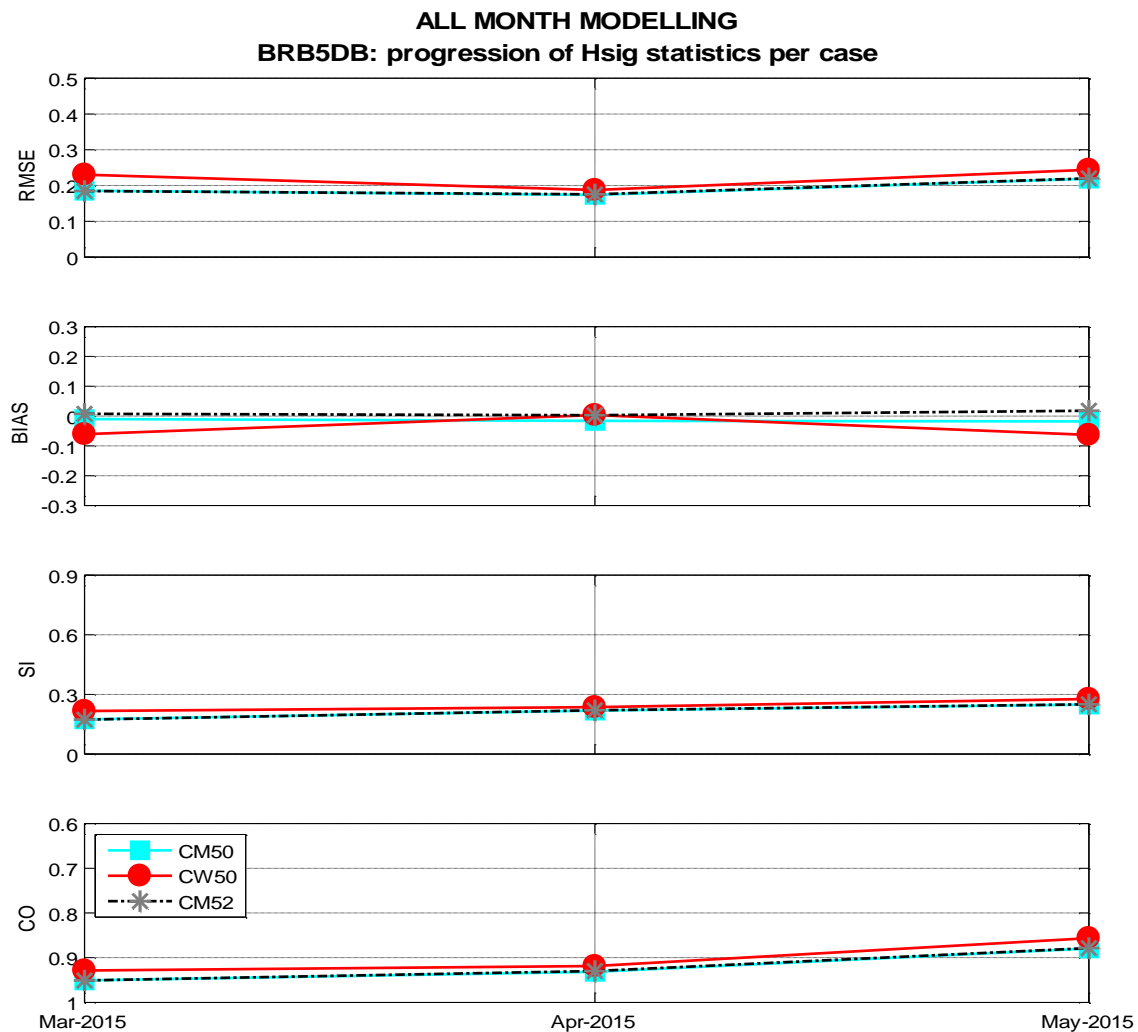
Hm0	TRGGB1	Maart 2015	April 2015	Mei 2015
RMSE	CM50	0.10	0.27	/
	CW50	0.08	0.28	/
	CM52	0.15	0.35	/
BIAS	CM50	0.01	0.14	/
	CW50	0.03	0.16	/
	CM52	0.09	0.26	/
SI	CM50	0.11	0.19	/
	CW50	0.08	0.19	/
	CM52	0.16	0.25	/
CO	CM50	0.97	0.83	/
	CW50	0.99	0.84	/
	CM52	0.96	0.82	/

Figuur 5.7. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie TRGGB1 voor de periode maart-mei 2015 bij stormcondities.



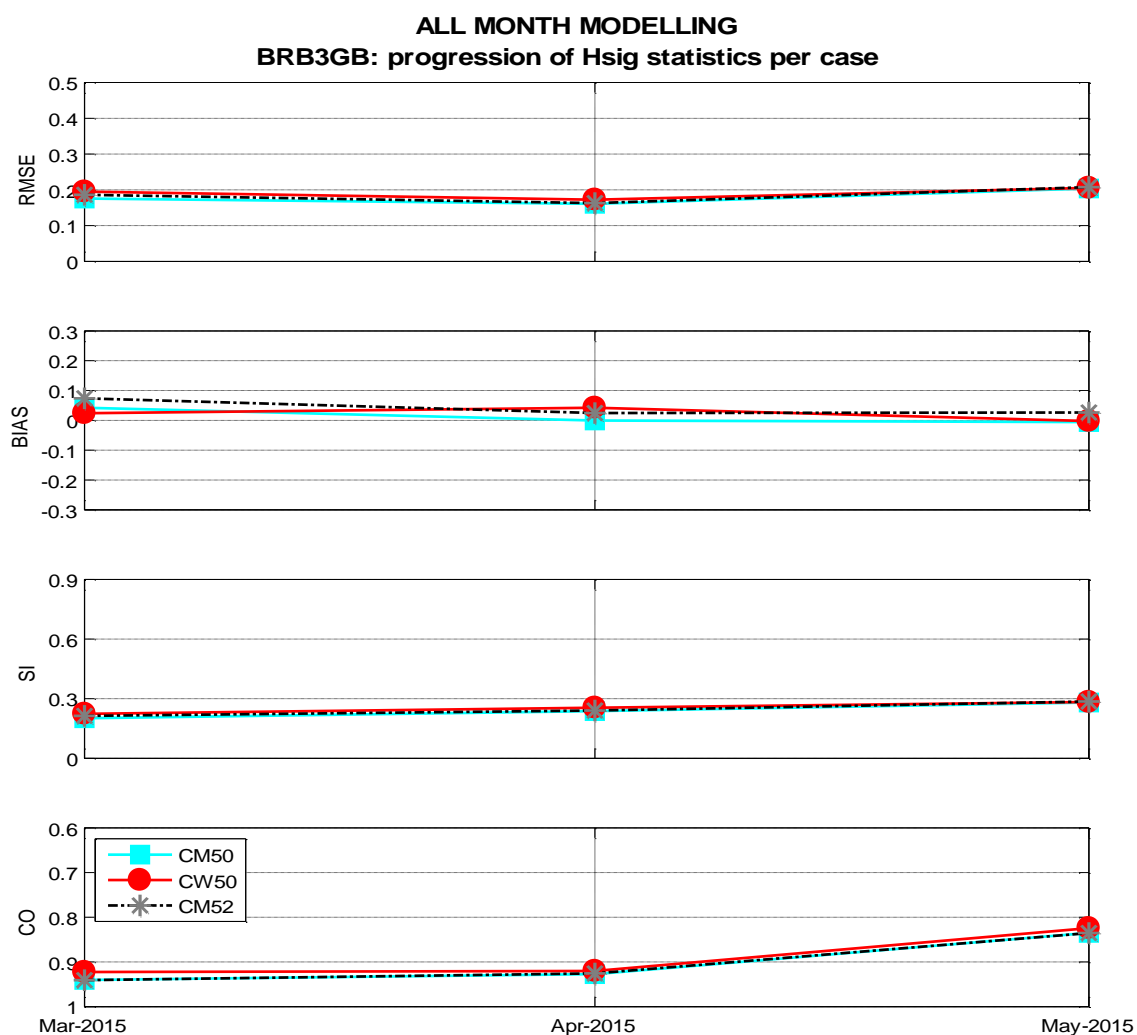
Hm0	WHIDW1	Maart 2015	April 2015	Mei 2015
RMSE	CM50	0.12	0.09	0.14
	CW50	0.23	0.18	0.24
	CM52	0.12	0.09	0.14
BIAS	CM50	-0.02	-0.01	-0.02
	CW50	-0.05	0.01	-0.06
	CM52	-0.01	0.00	0.00
SI	CM50	0.10	0.11	0.14
	CW50	0.19	0.21	0.24
	CM52	0.10	0.11	0.14
CO	CM50	0.99	0.98	0.97
	CW50	0.94	0.93	0.90
	CM52	0.99	0.98	0.97

Figuur 5.8. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie WHIDW1 voor de periode maart-mei 2015 over de volledige periode per maand.



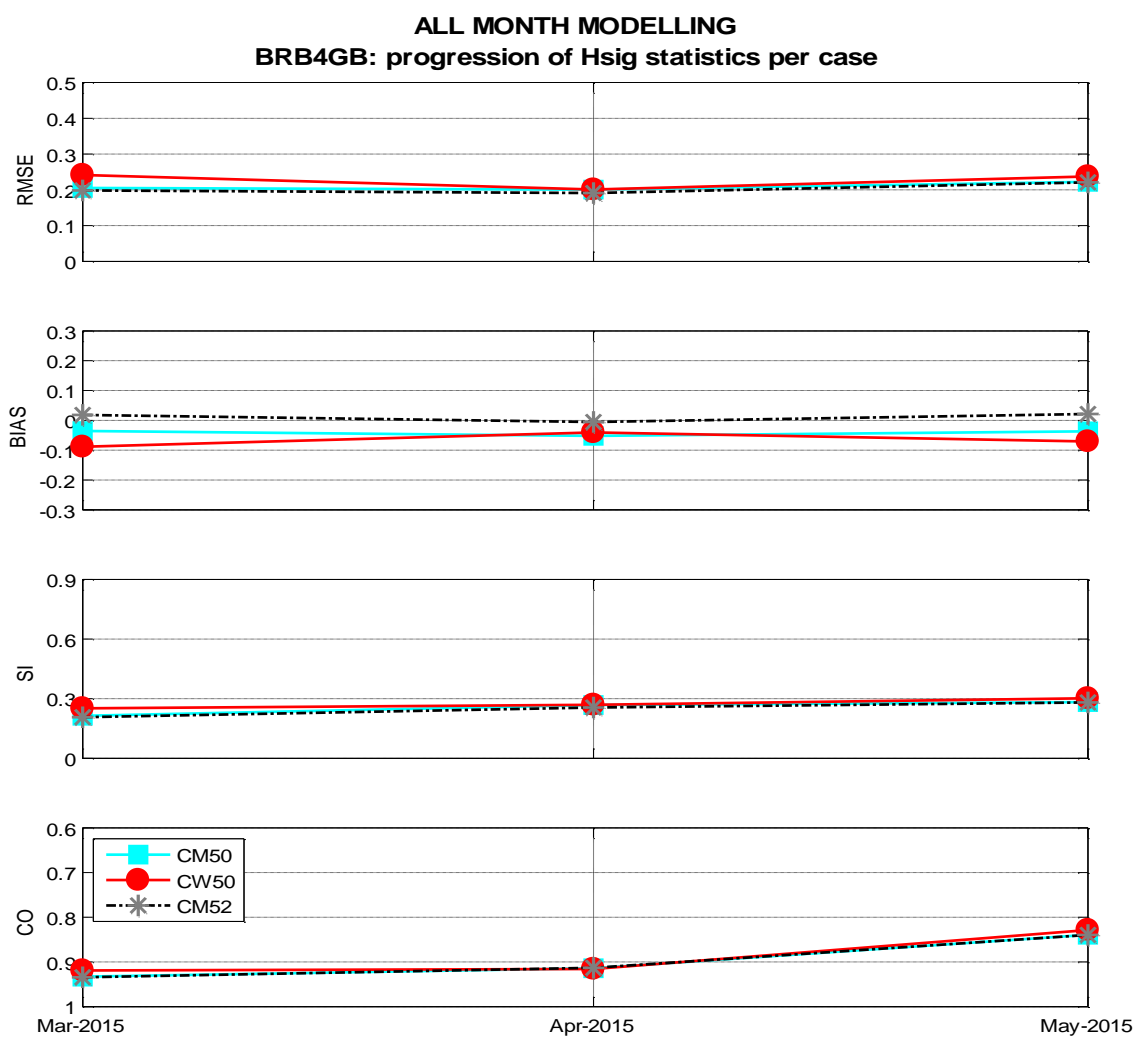
Hm0	BRB5DB	Maart 2015	April 2015	Mei 2015
RMSE	CM50	0.19	0.17	0.22
	CW50	0.23	0.19	0.24
	CM52	0.18	0.18	0.22
BIAS	CM50	-0.01	-0.02	-0.02
	CW50	-0.06	0.00	-0.06
	CM52	0.01	0.00	0.02
SI	CM50	0.17	0.22	0.25
	CW50	0.22	0.24	0.28
	CM52	0.17	0.22	0.25
CO	CM50	0.95	0.93	0.88
	CW50	0.93	0.92	0.86
	CM52	0.95	0.93	0.88

Figuur 5.9. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB5DB voor de periode maart-mei 2015 over de volledige periode per maand.



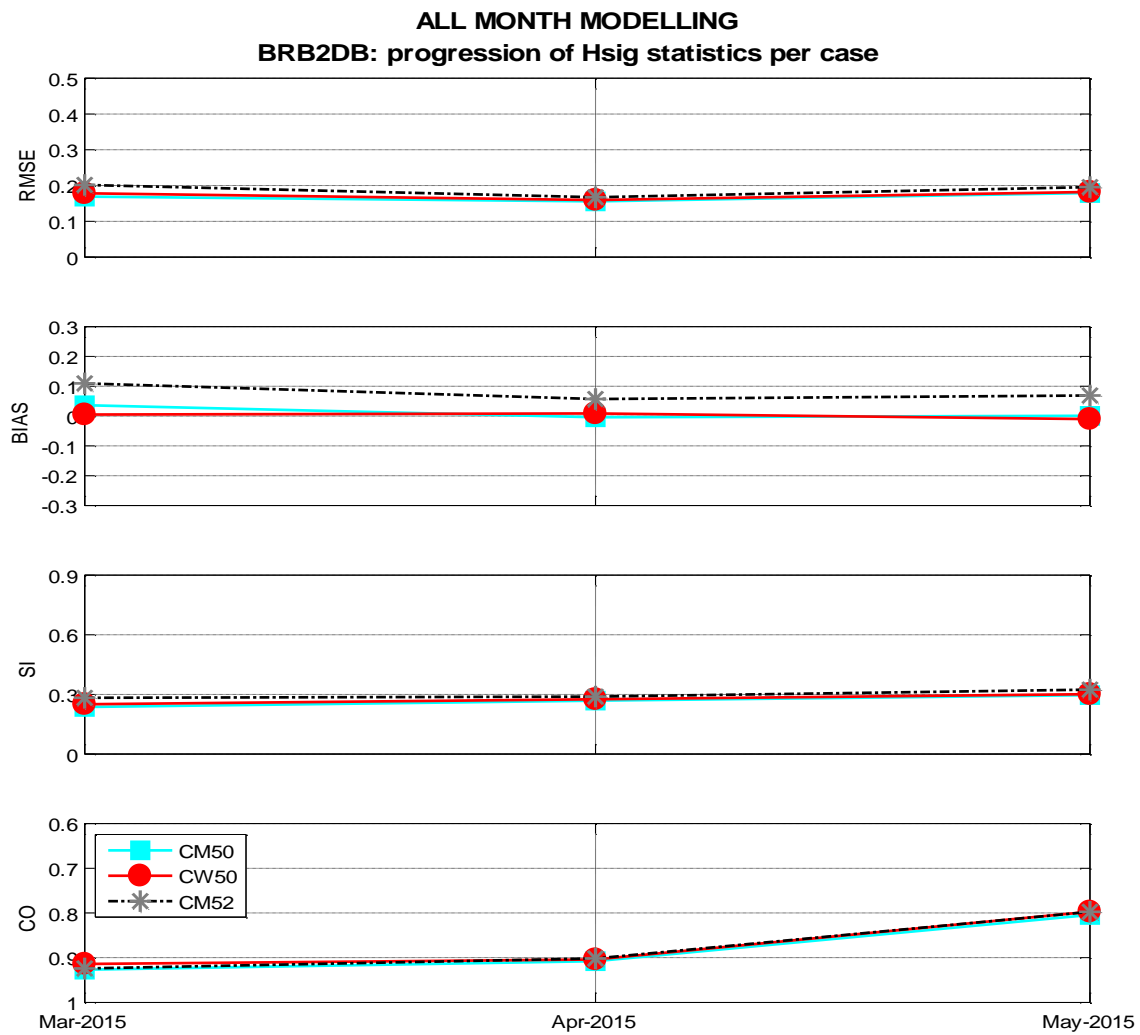
Hm0	BRB3GB	Maart 2015	April 2015	Mei 2015
RMSE	CM50	0.18	0.16	0.20
	CW50	0.19	0.17	0.21
	CM52	0.19	0.16	0.21
BIAS	CM50	0.04	0.00	-0.01
	CW50	0.02	0.04	0.00
	CM52	0.07	0.02	0.03
SI	CM50	0.20	0.24	0.28
	CW50	0.22	0.25	0.28
	CM52	0.21	0.24	0.29
CO	CM50	0.94	0.93	0.83
	CW50	0.92	0.92	0.82
	CM52	0.94	0.93	0.84

Figuur 5.10. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB3GB voor de periode maart-mei 2015 over de volledige periode per maand.



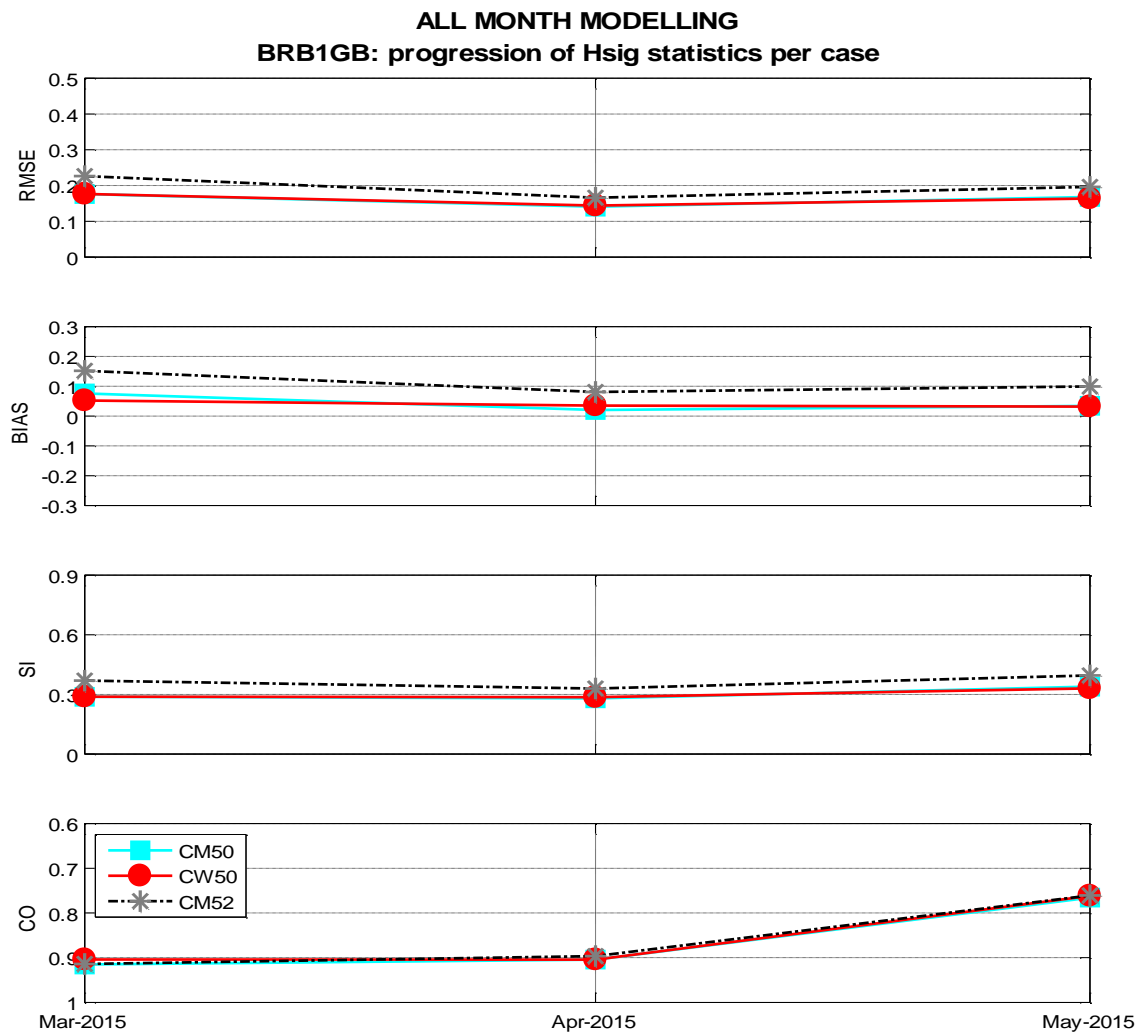
Hm0	BRB4GB	Maart 2015	April 2015	Mei 2015
RMSE	CM50	0.21	0.20	0.22
	CW50	0.24	0.20	0.24
	CM52	0.20	0.19	0.22
BIAS	CM50	-0.04	-0.05	-0.04
	CW50	-0.09	-0.04	-0.07
	CM52	0.02	-0.01	0.02
SI	CM50	0.21	0.27	0.28
	CW50	0.25	0.27	0.30
	CM52	0.21	0.26	0.28
CO	CM50	0.93	0.91	0.84
	CW50	0.92	0.92	0.83
	CM52	0.93	0.91	0.84

Figuur 5.11. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB4GB voor de periode maart-mei 2015 over de volledige periode per maand.



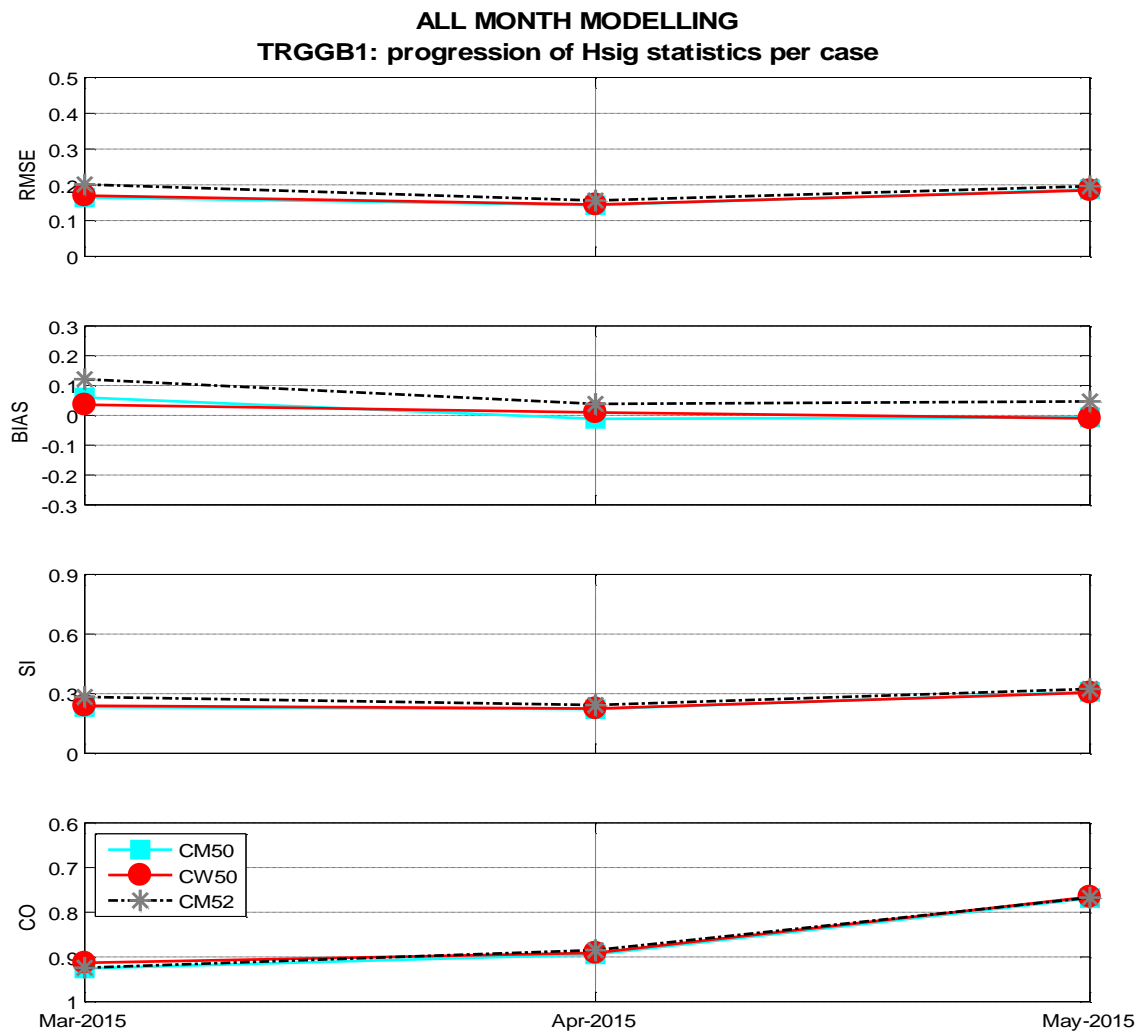
Hm0	BRB2DB	Maart 2015	April 2015	Mei 2015
RMSE	CM50	0.17	0.16	0.18
	CW50	0.18	0.16	0.18
	CM52	0.20	0.17	0.20
BIAS	CM50	0.04	0.00	0.00
	CW50	0.01	0.01	-0.01
	CM52	0.11	0.06	0.07
SI	CM50	0.24	0.27	0.30
	CW50	0.25	0.28	0.30
	CM52	0.28	0.29	0.32
CO	CM50	0.93	0.91	0.80
	CW50	0.91	0.90	0.80
	CM52	0.92	0.90	0.80

Figuur 5.12. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB2DB voor de periode maart-mei 2015 over de volledige periode per maand.



Hm0	BRB1GB	Maart 2015	April 2015	Mei 2015
RMSE	CM50	0.18	0.14	0.17
	CW50	0.18	0.14	0.16
	CM52	0.23	0.17	0.20
BIAS	CM50	0.08	0.02	0.03
	CW50	0.05	0.04	0.03
	CM52	0.15	0.08	0.10
SI	CM50	0.29	0.28	0.34
	CW50	0.29	0.29	0.33
	CM52	0.37	0.33	0.40
CO	CM50	0.92	0.90	0.77
	CW50	0.90	0.90	0.76
	CM52	0.91	0.90	0.76

Figuur 5.13. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie BRB1GB voor de periode maart-mei 2015 over de volledige periode per maand.



Hm0	TRGGB1	Maart 2015	April 2015	Mei 2015
RMSE	CM50	0.16	0.14	0.19
	CW50	0.17	0.14	0.18
	CM52	0.20	0.16	0.20
BIAS	CM50	0.06	-0.01	-0.01
	CW50	0.04	0.01	-0.01
	CM52	0.12	0.04	0.05
SI	CM50	0.23	0.22	0.31
	CW50	0.24	0.23	0.31
	CM52	0.28	0.24	0.32
CO	CM50	0.93	0.89	0.77
	CW50	0.91	0.89	0.77
	CM52	0.92	0.88	0.77

Figuur 5.14. Tijdslijn statistische parameters voor Hm0 op locatie TRGGB1 voor de periode maart-mei 2015 over de volledige periode per maand.

Reference to this report:

Ortega Yamamoto, H., H. Komijani, J. Monbaliu, 2016. *Monitoring Broersbank – Resultaten Modelleren (periode Mar 2015 – Mei 2015)*. Monitoring Broersbank_214339_R04 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 18-07-2016.